



CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE  
Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali

## Technical, Scientific and Research Reports

CNR-ICVBC-TR-01/11

13/06/2011

---

# APPLICAZIONE DI TECNICHE DIAGNOSTICHE NON INVASIVE E MICRO-INVASIVE SU DIPINTI MURALI: IL CASO STUDIO DELLA CAPPELLA DI S. ANTONIO ABATE DELLA EX CHIESA DI S. MARIA A LE CAMPORA

---

S. Bracci<sup>1</sup>, E. Cantisani<sup>1</sup>, L. Fenelli<sup>2</sup>, R. Olmi<sup>3,4</sup>, R. Manganelli Del Fà<sup>1</sup>, D. Magrini<sup>1</sup>,  
S. Penoni<sup>5</sup>, M. Picollo<sup>3</sup>, S. Priori<sup>3,4</sup>, C. Riminesi<sup>1,4</sup>, B. Sacchi<sup>1</sup>, C. Todaro<sup>5</sup>

<sup>1</sup> CNR – Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali, Via Madonna del Piano n.10 (Edificio C), 50019 Sesto Fiorentino (FI)

<sup>2</sup> Kunsthistorisches Institut Florenz, Max-Planck-Institut, Via G. Giusti n.44, 50121 Firenze

<sup>3</sup> CNR – Istituto di Fisica Applicata “N. Carrara”, Via Madonna del Piano n.10 (Edificio B), 50019 Sesto Fiorentino (FI)

<sup>4</sup> ELab Scientific Srl (spin-off CNR), Via Fra’ D. Buonvicini 17, 50132 Firenze

<sup>5</sup> Faberestauo snc, Piazza Ginori 13, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

**Riferimento:**

Cristiano Riminesi

CNR – Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali

Via Madonna del Piano, 10 – Edificio C

50019 Sesto Fiorentino (FI)

Tel. 055 5225482 – Fax. 055 5225403

e-mail: [c.riminesi@icvbc.cnr.it](mailto:c.riminesi@icvbc.cnr.it)

# Indice

<b>INTRODUZIONE STORICO-ARTISTICA.....</b>	<b>5</b>
La cappella di sant'Antonio abate e la scomparsa chiesa di S. Maria al Sepolcro (Le Campora)...	5
<b>FINALITÀ DELL'INTERVENTO DI INDAGINE.....</b>	<b>10</b>
<b>DESCRIZIONE DELLE TECNICHE DIAGNOSTICHE.....</b>	<b>11</b>
<b>Tecnica dielettrometrica per la rilevazione del contenuto di umidità e di sali solubili .....</b>	<b>11</b>
Principi di base .....	11
Descrizione della metodologia di misura.....	13
<b>Spettroscopia in riflettanza non invasiva mediante fibre ottiche.....</b>	<b>15</b>
Cenni storici: spettroscopia in riflettanza.....	15
Metodologia .....	15
Strumentazione .....	15
<b>Campionamenti e analisi .....</b>	<b>17</b>
Analisi FTIR.....	17
Analisi XRD .....	17
Cromatografia ionica .....	17
<b>RISULTATI DELLA CAMPAGNA DIAGNOSTICA.....</b>	<b>18</b>
<b>Mappe del contenuto di umidità e di sali solubili mediante SUSI .....</b>	<b>19</b>
<b>Spettroscopia in riflettanza a fibre ottiche, FORS.....</b>	<b>38</b>
<b>Campionamento.....</b>	<b>51</b>
Schede dei campioni .....	52
Risultati del campionamento .....	88
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>96</b>
<b>Analisi della tecnica esecutiva.....</b>	<b>96</b>
<b>Analisi dello stato di conservazione.....</b>	<b>100</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>104</b>



## INTRODUZIONE STORICO-ARTISTICA

### LA CAPPELLA DI SANT'ANTONIO ABATE E LA SCOMPARSA CHIESA DI S. MARIA AL SEPOLCRO (LE CAMPORA)

La cappella affrescata con storie di sant'Antonio abate è l'unica emergenza architettonica ancora esistente, insieme a parte del muro di fondo della cappella absidale e alla base del campanile, della trecentesca chiesa di S. Maria al Sepolcro (Le Campora), sorta nei dintorni di Firenze, a un chilometro circa da Porta Romana (già Porta S. Pier Gattolini), in località Colombaia. Ancora in piedi, ai giorni nostri, sono, oltre a un muro dove si aprono piccole finestre, che apparteneva, con ogni probabilità, al convento, due bracci del chiostro, adibiti dal 1815 a villa privata, e poi, negli anni, variamente lottizzati e divisi in tre proprietà.

Molto di quello che oggi sappiamo del sito deriva dalla lettura di una cronaca, iniziata il 20 di giugno del 1371 da Benito di Maestro Tedaldo, per vari anni priore di Le Campora e poi parzialmente pubblicata nel 1755 da Luigi Galletti [1], archivista e bibliotecario alla Badia fiorentina. Dalla fonte apprendiamo che l'edificio sorse nel 1348, come terza e definitiva sede di un gruppo di religiosi che conducevano vita di stampo semieremitico. Raccoltisi intorno all'eremita pistoiese Bartolomeo di Bonone già nel 1313, il 28 maggio 1334 i monaci ottennero dal cardinale Giovanni di Gaetano Orsini di poter vivere secondo la regola di sant'Agostino e si stabilirono dapprima a S. Michele di Monte Maione, nel Chianti senese, vicino ad Albula [2], poi presso la chiesa di S. Francesco di Paola, a S. Donato a Scopeto. Abbandonato anche questo secondo insediamento per ragioni legate all'insalubrità del luogo, i religiosi comprarono nel 1348 un podere dai figli di Tano dei Raugi fuori porta S. Pier Gattolini e procedettero all'erezione della loro sede definitiva, nella parrocchia di S. Ilario a Colombaia. I lavori per la costruzione della chiesa – che ottenne il titolo di S. Maria del S. Sepolcro a Colombaia – terminarono il 31 dicembre del 1352.

Il convento di Le Campora, che pur seguendo la regola di S. Agostino, negli anni della fondazione non apparteneva di fatto ad alcun ordine, visse il suo momento di massimo splendore negli anni Settanta del Trecento. È in queste date, infatti, che due eremiti castigliani, Fernandez Pecha di Gualdalajara e suo fratello Alfonso, già vescovo di Jaen, ritirati dapprima a vita solitaria e poi desiderosi di istituire un cenobio, ottennero da papa Gregorio XI, su consiglio del cardinale Pietro Corsini, già arcivescovo di Firenze e particolarmente legato ai religiosi di Le Campora, di poter vivere seguendo la regola di sant'Agostino secondo le costituzioni di S. Maria al Sepolcro [3]. In questo modo i monaci fiorentini si trovano improvvisamente a capo della rete di monasteri che i due castigliani andavano impiantando tra Spagna e Portogallo e Le Campora divenne la casa madre di un ordine, destinato a diffondersi soprattutto nella penisola iberica, e poi, dalla metà del XV secolo, nell'Italia padana. L'intitolazione a Girolamo, da cui il nome di girolamiti o girolamini, già presente nella bolla di fondazione del 1373, verrà ribadita nel 1408: è una precisazione importante, perché nulla, prima di queste date, lega la fondazione fiorentina al santo che diventerà patrono dell'ordine, se non un generico richiamo all'eremitismo dei padri del deserto. A Le Campora il vero 'fondatore' dell'istituzione, anche su influsso dell'agostiniano Simone da Cascia, è considerato infatti Agostino.

La cappella di sant'Antonio abate, la prima ad essere decorata dopo l'erezione della chiesa, si trovava in origine accanto alla cappella maggiore, verso la sagrestia e fu concessa dai monaci di S. Maria al Sepolcro a Pietro e Stefano Benini, il 25 novembre del 1368. Contribuiscono a questa identificazione, oltre ai documenti d'archivio recentemente reperiti [4], le osservazioni del Puccinelli [5] («La famiglia de Benini fece la cappella di S. Antonio l'anno 1372»), che scrive nel 1664 e

probabilmente legge ancora una data, 1372, oggi non più rintracciabile; stringente è anche la presenza dello stemma con le catene incrociate, che si vede sia, malamente rimurato, sull'arco di ingresso della cappella, sia, con i colori – il rosso e l'oro<sup>1</sup> – attestati dalle fonti, nello strombo della finestra<sup>2</sup>.

Il ciclo antoniano che decora le pareti della cappella, riferito da Sirén a giottino [7], è stato ricondotto da Berenson [8] a un allievo di Maso di Banco, e datato da Boskovits [9] – che lo ascrive sempre a un allievo di Maso, forse Pietro Nelli – agli anni Settanta del Trecento, ossia perfettamente in linea con le testimonianze documentarie che legano al cappella alla famiglia Benini [4]. Il catalogo di Pietro Nelli, nonostante i recenti contributi di S. Chiodo [10], non manca di punti oscuri, soprattutto, come è stato sottolineato, per la discordanza tra l'arco cronologico indicato dalle opere attribuite al pittore e quello dei documenti che lo riguardano. Nell'attesa dei dati materiali che verranno dal prossimo restauro, va segnalato che, stilisticamente, i dipinti, soprattutto nella parete nord, si presentano come molto 'gaddiani' e quasi 'maseschi' nella costruzione volumetrica e massiccia dei corpi degli eremiti. Non è un caso quindi, come si rileva dalla pubblicazione dell'epistolario di Graziani, che sia il Longhi, sia il suo giovane allievo, che ebbe modo di vedere e quasi 'riscoprire' la cappella nel 1941<sup>3</sup>, avessero avanzato per gli affreschi proprio il nome di Maso, nome ovviamente smentito dal ritrovamento del documento che li data almeno vent'anni dopo la morte del maestro<sup>4</sup>.

Molto utile, e in parte ancora da condurre, è il confronto con gli affreschi della cappella Castellani in S. Croce, eseguiti da Agnolo Gaddi con l'aiuto di collaboratori al ritorno da Roma intorno al 1383 [12], non solo per alcune caratteristiche tipologiche (sono entrambe cappelle private di una ricca famiglia accanto al transetto di un importante convento cittadino), ma soprattutto per la scelta iconografica degli episodi raffigurati. Numerose sono infatti le tangenze tra i due cicli, nelle scene che raffigurano l'incontro tra Antonio e Paolo, nella presenza, assai rara, del diavolo panzooico, ossia del demonio che tenta l'asceta sotto forma di animale feroce, nella scelta, anche questa quasi un *unicum* nell'iconografia antoniana, di raffigurare il seppellimento dell'eremita da parte di due discepoli. Infine, come vedremo, sicuramente gaddiane – e con questo non si intende suggerire un'attribuzione ad Agnolo, ma solo avanzare una proposta per indagini ulteriori e per possibili confronti – sono alcune precise scelte stilistiche.

Le scene narrano la vita e la morte di sant'Antonio abate e il suo incontro con san Paolo, primo eremita, attraverso una scelta di episodi salienti tratti dalla prima biografia composta dal vescovo di Alessandria, Atanasio, negli anni immediatamente successivi alla morte, e dalla *Vita di Paolo, primo eremita*, composta da Girolamo: il ciclo è estremamente esaustivo e abbraccia tutti i

---

<sup>1</sup> Ancora visibili sono le catene rosse, mentre lo sfondo oro era probabilmente realizzato con una lamina di stagno applicata e brunita.

<sup>2</sup> Sulla famiglia mercantile dei Benini e le commissioni artistiche ad essa collegate si veda [6].

<sup>3</sup> Si veda la lettera con cui Alberto Graziani comunica alla moglie la scoperta degli affreschi: «Carissima, non sorridere: credo di aver scoperto una cappella con dei dipinti di Maso, una cappella grande con otto storie di sant'Antonio, santi laterali, committenti, profeti, Padreterno, mezze figure ecc. trovate due o tre fotografie nell'archivio fotografico dell'istituto, effettuata ricerca nel convento e scoperto che era villa di inglesi. Telefonato, spaventando una vecchia inglese, e ottenuto di andare immediatamente. Sono stato più di due ore inerpicato su scalette: conservazione buona in basso, in alto sfacelo. E sembra Maso puro e in certi punti Cézanne – dovrò studiare molto nei giorni prossimi». [11].

<sup>4</sup> Lettera di Alberto Graziani a Francesco Arcangeli: «Caro Momi, [...] Sei poi andato a vedere Maso (o non Maso) secondo Longhi (allora diremmo a vedere Maso?) a Le Campora? E il mio Gentile? L'hanno roscato i topi? E il piccolo Maso di Fiesole è stato ripulito?». [11].

momenti fondamentali della vita dell'anacoreta, secondo due testi che avevano nel Trecento un'ampia circolazione, grazie anche a volgarizzamenti e versioni abbreviate [13].

Il ciclo si svolge sulle tre pareti della cappella e si organizza in due registri, che si leggono da sinistra a destra, dall'alto al basso.

Partendo dalla parete sinistra, si vedono, nel registro superiore, due scene distinte separate da un ammasso di rocce, con Antonio che distribuisce i suoi beni ai poveri e bisognosi e poi, prima di affrontare l'eremitaggio nel deserto, visita un anziano monaco che vive ai margini della città. Nel muro dell'altare, nel registro superiore, diviso in due parti dalla finestra, sono due scene di tentazioni e tormenti demoniaci: la prima è quella dell'avarizia, con la comparsa nel deserto di un masso d'oro (che doveva essere di lamina metallica e il cui distacco ha causato un'ampia lacuna), la seconda, invece, è la distruzione del romitaggio da parte dei diavoli. I tormenti demoniaci proseguono nella parete destra, sempre nel registro superiore, con il santo battuto dai demoni e poi molestato dal diavolo panzooico che gli appare sotto forma di animali feroci: nonostante i guasti pittorici si distinguono ancora undici animali, disposti su due file, tra cui si identificano con sicurezza un orso, un caprone, un leone, un cinghiale (come sembrerebbe dalla zanna affilata), un lupo, un toro e un leopardo.

Il ciclo prosegue nel registro inferiore: se quello superiore – se si eccettua il primo riquadro, sulla giovinezza dell'anacoreta – è dedicato alla tentazione, alla prova, alla solitudine del deserto, la zona sottostante ha come tema la nascita embrionale del cenobitismo nell'Egitto del IV secolo, con Antonio che istruisce i suoi discepoli all'interno di un edificio conventuale, e poi parte alla ricerca di Paolo, di cui un angelo gli ha svelato l'esistenza. È comprensibile quale fosse il significato che l'esperienza antoniana, di estrema autoesclusione solitaria, e, insieme, di embrionale proselitismo, rivestiva per gli eremiti agostiniani di Le Campora che ricreavano un ideale deserto alle porte della città e nello stesso tempo vivevano l'esperienza di una vita cenobitica.

Il viaggio per incontrare Paolo è narrato nel registro inferiore del muro dell'altare: a sinistra della finestra, Antonio incontra il centauro (in alto) e il satiro (in basso) che lo guidano nel deserto; a destra della finestra l'asceta sta bussando, con una pietra, al romitaggio di Paolo, il cui volto si intravede tra le rocce. Ai suoi piedi si nota il muso di un animale: potrebbe essere una lupa, ultima guida dell'anacoreta secondo il testo di Girolamo, o forse, ipotesi suggestiva, un maiale dal grugno scuro, l'animale che tradizionalmente, dal Trecento, è associato all'eremita nelle immagini iconiche [13].

Il ciclo termina sulla parete destra con Antonio e Paolo (vestito con la tunica di foglie intrecciate) nutriti da un corvo: la scena, ricca di invenzioni assai interessanti, come la palma che, con il cappello di foglie, 'buca' la roccia della grotta, è una delle più significative per testimoniare l'altissima cultura figurativa del pittore. Conclude il ciclo il seppellimento di Antonio da parte di due discepoli – scena assai rara, di stretta osservanza atanasiana che, come accennato, torna nella cappella Castellani in S. Croce – mentre in alto quattro angeli portano in cielo l'anima di Antonio: bellissima è l'attenzione al vero, con il cadavere dell'anacoreta che pesa sul telo su cui è trasportato e affatica le schiene dei due compagni chinati.

Completano la decorazione i quattro evangelisti, identificabili grazie alle iscrizioni<sup>5</sup>, nella volta a crociera, il profeta Isaia con l'indice alzato<sup>6</sup> e, in alto, entro un tondo, il *vir dolorum*, nella parete

---

<sup>5</sup> Tutte le iscrizioni sono perfettamente leggibili: [*Liber*] *ge/ner/atio/nis/ Christi/ filii* (Matteo I, 1); *Initium Evan/[a]ngeli Iesu* (Marco, I,1) [*In pri/[nci]pio/ [e]rat / Verbum / et V[er]bu[m]*] (Giovanni, I,1) *Fuit / in die/ bus Her/odis* (Luca, I,1). Ogni evangelista è accompagnato dal suo animale, che doveva essere presente anche nel tondo di Matteo, dove un'infiltrazione ha causato la perdita quasi totale della figura.

sopra la finestra, e i dodici apostoli, di cui l'ultimo è un rozzo rifacimento tardo, nell'arco dell'entrata. Si noti il motivo ricorrente del *rotulo* che costantemente fuoriesce dai bordi delle nicchie, chiara citazione di Taddeo Gaddi in S. Croce: si confrontino, per esempio, i numerosi dettagli di questo tipo nell'affresco staccato con l' *Arbor Vitae*, nel refettorio del convento, e poi nella cappella Baroncelli e nella Cappella Bardi del Vernio.

Nei due pilastri d'entrata della cappella sono infine due santi entro nicchie, accompagnati da monaci: vanno identificati, con ogni probabilità, con Antonio e Agostino. Significativo è che Antonio regga un *rotulo*, che doveva contenere, in origine, scritte perfettamente leggibili, mentre Agostino un libro: nella polarità o meglio reciproco completamento tra gli insegnamenti ricavati dalle lettere e dai detti antoniani, simbolizzati nel *rotulo*, e la codificata regola agostiniana, esemplificata dal libro, risiede il significato della scelta del ciclo antoniano per il convento fiorentino, in un momento, gli anni settanta del Trecento, di profonda riorganizzazione statutaria, istituzionale e identitaria.

Come riportato da numerose descrizioni sei e settecentesche, tra la fine del Trecento e i primi decenni del Quattrocento, la chiesa di S. Maria al Sepolcro doveva essere riccamente decorata, con cappelle private legate alle principali famiglie fiorentine: la ricostruzione di questo patrimonio, oggi in parte distrutto, con il crollo della chiesa, e in parte disperso tra altre chiese e musei, è lavoro paziente, realizzabile solo grazie alla lettura intrecciata di fonti diverse [4].

Nei primi decenni del Quattrocento il monastero fiorentino conta solo cinque membri e a più riprese il priore Fra Salvi deve difendersi dai ripetuti tentativi che il portoghese Gomez, abate della Badia Fiorentina, mette in atto per acquisire il sito di Le Campora. Nonostante l'appoggio della famiglia degli Albizi, fin dalla fondazione protettori della chiesa e finanziatori della costruzione della cappella maggiore, il 6 novembre 1434, Eugenio IV concede a Gomez di acquisire il convento, lasciando ai monaci girolamiti la facoltà di trasferirsi altrove.

Gli edifici vengono riadattati alle nuove esigenze, con la riedificazione del chiostro e il restauro dei locali del convento per la residenza dei monaci. Negli stessi anni in cui, nella sede di via del Proconsolo, si effettuano i lavori del Chiostro degli Aranci, per la cui decorazione è attiva una bottega probabilmente capeggiata dall'Angelico [14], a Le Campora viene riedificato e forse decorato il chiostro: delle pitture murali rimangono pochissimi lacerti, come l'affresco che fu staccato da un muro pericolante nel 1956, e di cui, a oggi, si sono perse le tracce.

Nei fatti il passaggio alla Badia non fu, come spesso tuttora si legge, un momento di decadenza: per tutto il Quattrocento a S. Maria al Sepolcro vivevano stabilmente una ventina di monaci benedettini, e spesso lì si celebravano i capitoli generali. Continuavano anche le committenze artistiche per le cappelle private, come quella della famiglia Vettori, che nel 1464 commissionano a Neri di Bicci un' *Annunciazione*, oggi conservata all'Accademia [15], e quella della famiglia Del Pugliese, che fa eseguire nel 1480 a Filippino Lippi la tavola con la *Visione di S. Bernardo* (oggi alla Badia Fiorentina) [16].

Non è chiaro a che date inizi la decadenza dell'edificio: tra 1529 e il 1530, nel corso dell'assedio di Firenze, un gruppo di soldati tedeschi si stabilisce nel convento, spogliando la chiesa soprattutto dei rivestimenti lignei e del coro, che era stato riedificato nel 1515: alcuni arredi preziosi, come la tavola di Filippino, vengono in questa occasione trasferiti alla Badia fiorentina e non faranno più ritorno a Le Campora.

L'edificio doveva ormai essere ridotto in rovina all'inizio dell'Ottocento, quando crollarono parte della chiesa e due lati del chiostro: trasformato in villa da Francesco del Corona nel 1815 [17],

---

<sup>6</sup> Ben leggibile nel *rotulo* è il passo di Isaia LIII, 4, *Vere languores no/stros ipse tu [lit, et dolores nostros ipse portavit]*.



ricevette, nell'ultimo secolo, la forma attuale, probabilmente ridimensionata ulteriormente durante la seconda guerra mondiale. Il decreto di vincolo della Reale Soprintendenza ai monumenti accenna a uno stato di conservazione deprecabile, in cui «ambienti trecenteschi con volte a crociera e ambienti quattrocenteschi con volte a vela sono adibiti a vari usi, per la casa del contadino, stanzoni per le piante, etc.» e cita lacerti di affreschi, tutti perduti, e soprattutto lamenta il «preoccupante» stato di conservazione dei dipinti murali, con infiltrazioni di umidità che provengono dal tetto, distacchi e cadute di intonaco, un alto strato di polvere e sudiciume, tutte condizioni che non poterono che peggiorare quando, negli anni sessanta, prima dell'arrivo degli attuali proprietari, la cappella fu adibita a ricovero di mobili dismessi.

È facile capire che, ancora oggi, le condizioni degli affreschi – malamente rattoppati in alcuni casi, ma mai restaurati – non siano buone: la speranza è che, grazie alla collaborazione tra diverse istituzioni cittadine, *in primis* il CNR, che ha svolto le indagini preliminari al restauro, poi il Kunsthistorisches Institut in Florenz, che ha finanziato un'estensiva campagna fotografica, e soprattutto la Soprintendenza fiorentina, si possa dar vita a una 'riscoperta' di questo ciclo così importante per il Trecento fiorentino e insieme contribuire a una ricostruzione, seppure soltanto 'virtuale' dello scomparso convento di S. Maria al Sepolcro.

## FINALITÀ DELL'INTERVENTO DI INDAGINE

Un progetto di indagine diagnostica ha lo scopo di raccogliere una vasta gamma di informazioni che concorrono a definire il più precisamente possibile la genesi esecutiva e lo stato di conservazione di un manufatto artistico. Tale percorso dovrebbe essere la premessa irrinunciabile di ogni progetto di restauro che si proponga di affrontare le problematiche conservative dell'opera, permettendo un approccio più mirato e quindi meno invasivo. Infatti, nel restauro, ogni operazione superflua, dettata spesso da routine operativa, può comportare conseguenze negative per l'opera, soprattutto qualora l'impostazione metodologica e i prodotti impiegati non siano compatibili con i materiali costitutivi originali.

È importante dunque stabilire quali materiali costituiscono un dipinto murale, poiché, essendo numerosi e diversamente sensibili alle sollecitazioni provenienti dall'esterno, influiscono sulle scelte da effettuare riguardo alle sostanze e alle metodologie da impiegare nel corso dell'intervento.

È necessario infine analizzare lo stato di conservazione dell'opera, tramite l'individuazione dei principali fattori di degrado.

Generalmente il degrado delle pitture murali è legato alla presenza dell'acqua che entra in contatto con i materiali costitutivi a seguito di infiltrazioni, per umidità di risalita dal terreno o per condensa di vapore acqueo sulle superfici.

L'acqua, oltre a compiere azione di dilavamento che può provocare distacchi, cadute o polverizzazione della pellicola pittorica e dell'intonaco, è soprattutto un veicolo di sostanze inquinanti, soprattutto acidi e sali.

Gli acidi, prevalentemente quello solforico, reagiscono con la matrice carbonatica degli intonaci e determinano la formazione di sali dannosi per la muratura. I sali, soprattutto solfati e/o nitrati, a seguito dei processi ciclici di cristallizzazione e solubilizzazione, caratterizzati da variazioni di volume, provocano, a lungo andare, la disgregazione del supporto e la formazione di efflorescenze [amoroso].

Altri elementi di degrado possono essere legati a fattori antropici. Come abbiamo già descritto, un errato intervento conservativo può comportare notevoli danni all'opera. Ad esempio, il ripristino di lacune tramite impiego di malte non idonee come quelle cementizie causa l'inserimento dei già citati sali inquinanti all'interno dell'intonaco originale. Anche la sovrarimessa di sostanze filmogene come fissativi, impiegati per ottenere una maggiore saturazione delle cromie, può essere un fattore di degrado a causa dell'alterazione che questi materiali subiscono nel tempo e nell'interazione che questi hanno con i materiali originali.

## DESCRIZIONE DELLE TECNICHE DIAGNOSTICHE

### TECNICA DIELETTROMETRICA PER LA RILEVAZIONE DEL CONTENUTO DI UMIDITÀ E DI SALI SOLUBILI

#### PRINCIPI DI BASE

Nell'ambito delle attività di ricerca relative alla spettroscopia dielettrica dei materiali è stato sviluppato, nel Laboratorio di Spettroscopia Dielettrica dell'Istituto di Fisica Applicata "*N.Carrara*", uno strumento per la diagnosi precoce, non invasiva ed in tempo reale del contenuto di umidità e di elettroliti in soluzione (sali) presenti su supporti murali, in particolare dipinti murali e affreschi. Tale strumento denominato SUSI (acronimo di Strumento per la misura di Umidità e Salinità Integrato [19]) si basa sulla misura, alla frequenza delle microonde, del contrasto tra la costante dielettrica dell'acqua (circa 80) e la costante dielettrica dei materiali costituenti il supporto, malta, mattoni, pietra (valori compresi tra 2-3). L'elevato contrasto permette di rilevare anche piccole quantità di acqua.

Cos'è la costante dielettrica (o permittività elettrica)? Tutti i materiali sono caratterizzabili dal punto di vista elettromagnetico mediante la loro costante dielettrica e permeabilità magnetica ( $\epsilon$  e  $\mu$ ), in generale grandezze complesse. La costante dielettrica in particolare descrive come un campo elettrico influenza ed è influenzato dal materiale sul quale viene applicato. Tale grandezza è determinata dalla capacità del materiale di polarizzarsi, cioè di formare e orientare un dipolo elettrico in presenza di un campo elettrico esterno che si oppone al campo stesso riducendo quindi, il campo elettrico totale nel materiale. Questo fenomeno è descritto dalla parte reale della costante dielettrica, la parte immaginaria è invece legata ai fenomeni dissipativi dovuti all'attrito tra i dipoli elettrici durante il loro orientamento con il campo elettrico.

Per la permeabilità magnetica si ha un comportamento duale.

La parte immaginaria della costante dielettrica in termini più generali dipende anche dalla conducibilità elettrica del materiale, quindi dalla mobilità degli ioni presenti. Pertanto un materiale con contenuto salino anche elevato ma privo di acqua (secco) presenterà una conducibilità elettrica comunque bassa.

La metodologia di misura proposta si basa sulla determinazione sia della parte reale sia della parte immaginaria della costante dielettrica del materiale.

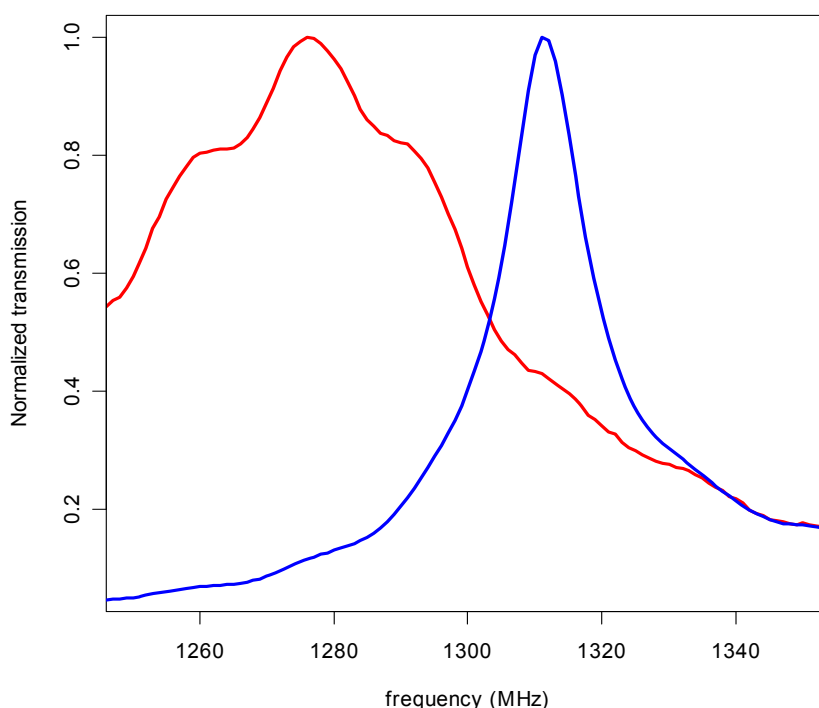
La tecnica utilizzata dal sistema dielettrometrico SUSI per determinare la costante dielettrica del supporto è nota come dielettrometria in campo evanescente (Evanescent-Field Dielectrometry, EFD [20]). In pratica, il materiale viene investigato da un campo elettrico evanescente che protrude da un sensore o una sonda opportunamente progettati rimanendo a questi confinato. In questo caso il sensore impiegato è un coassiale troncato chiuso all'altra estremità su di un corto circuito (Figura 1).



**Figura 1 – Testa di misura (sensore)**

Questa particolare configurazione costituisce una cavità risonante aperta, e proprio grazie all'apertura e al campo elettrico che protrude da questa è possibile "sondare" il materiale posto a contatto.

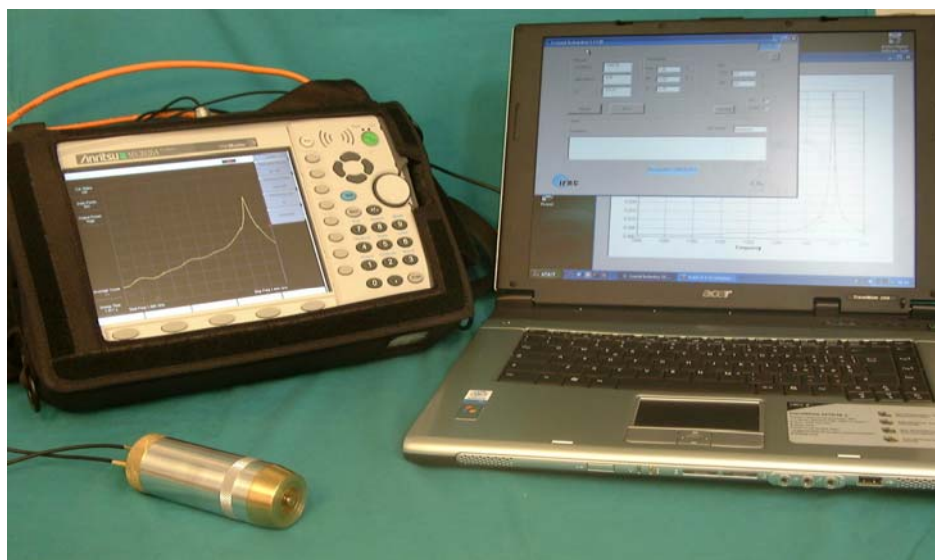
La risposta del sensore è quella tipica di un circuito risonante (Figura 2), ed è caratterizzata dalla frequenza alla quale si ottiene il picco della "campana" (frequenza di risonanza) e dalla sua larghezza (larghezza di banda). Da queste grandezze, che chiamiamo primarie, si determina la costante dielettrica parte reale e parte immaginaria (conducibilità dielettrica), dette invece grandezze secondarie. Le grandezze utili per la diagnostica del supporto, ovvero contenuto di umidità e di sali, sono derivate dalle grandezze secondarie mediante relazioni semi-empiriche [20].



**Figura 2 – Risposta del sensore risonante nel caso di malta con basso contenuto di umidità e di sali (linea blu) e nel caso di malta con elevato contenuto di umidità e di sali (linea rossa)**

## DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI MISURA

Il sistema di misura nel suo insieme è mostrato in Figura 3. La sonda di misura, che va a contatto con il supporto da investigare, è dotata di un conduttore centrale scorrevole a molla che permette un contatto “certo” con il supporto senza danneggiarlo. Questo consente di ottenere misure affidabili e ripetibili. L'apparato sul lato sinistro della figura è un analizzatore di reti vettoriale (Anritsu MS2026A) che permette di misurare il rapporto tra il segnale a microonde in uscita rispetto a quello in ingresso, ovvero la quantità di energia trasmessa tra l'ingresso e l'uscita del sensore (risposta del sensore). Il PC è un comune computer portatile sul quale è installato il software dedicato alla gestione e il controllo dello strumento e l'elaborazione della risposta in tempo reale.



**Figura 3 – Sistema di misura SUSI**

In Figura 4 è mostrato lo strumento SUSI durante l'esecuzione delle misure presso la Cappella di S. Antonio abate.

Lo strumento permette di eseguire:

- la diagnostica del contenuto di umidità e della presenza di sali solubili sub-superficiale (mappe puntuali [21]);
- la valutazione della dinamica di diffusione/evaporazione di acqua dal supporto [22];
- il monitoraggio di dipinti murali nel lungo periodo (variazioni di umidità stagionali) e controllo in continuo dell'efficacia estrattiva di impacchi.

La misura con il sistema dielettrometrico SUSI interessa una porzione del supporto fino ad una profondità di circa 2 cm, il contenuto di umidità e la quantità di sali presenti in soluzione sono mediati sul volume interessato dalle linee di forza del campo elettrico che di fatto interessano un volume pari a quello di una semi-sfera di 2 cm di raggio.

Il sistema di misura permette di ottenere risposte in tempo reale, con tempi di acquisizione inferiori a 20 secondi per punto di misura. La misura richiede il contatto diretto tra la sonda e supporto (vedi Figura 4): sono dunque da evitare zone ad elevato rischio di distacco dello strato pittorico e che presentano comunque un allentamento dello strato pittorico dal resto del supporto.



**Figura 4 – Misure del contenuto di umidità e di sali con SUSI presso la Cappella di S. Antonio Abate**

Ambiti applicativi:

- la diagnostica del contenuto di umidità sub-superficiale (mappe puntuali);
- la diagnostica della presenza di sali solubili sub-superficiali (mappe puntuali);
- la valutazione della dinamica di diffusione/evaporazione di acqua in una parete;
- il monitoraggio di dipinti murali e affreschi (variazioni di umidità stagionali);
- la valutazione dell'efficacia di impacchi estrattivi con riferimento al contenuto residuo di sali.

## SPETTROSCOPIA IN RIFLETTANZA NON INVASIVA MEDIANTE FIBRE OTTICHE

### CENNI STORICI: SPETTROSCOPIA IN RIFLETTANZA

La spettroscopia di riflettanza nella regione nel visibile è stata impiegata per la prima volta negli anni trenta dello scorso secolo per studiare i pigmenti impiegati in campo artistico. Nel secondo dopoguerra presso la National Gallery di Londra e l'Istituto Centrale del Restauro (ICR) di Roma furono sviluppate metodologie di misura del colore su dipinti che potessero garantire una buona precisione e riproducibilità. In particolare, presso l'ICR di Roma, Manlio Santini nel 1953 eseguì una serie di misure sulla Maestà di Duccio di Boninsegna. Questa tecnica fu ulteriormente sviluppata presso i Laboratori della National Gallery utilizzando delle fibre ottiche per la trasmissione della radiazione al di fuori del comparto porta campioni degli strumenti impiegati.

A partire dai primi anni ottanta, spettrofotometri trasportabili ed equipaggiati con sistemi a fibre ottiche operanti nel visibile e vicino infrarosso sono stati utilizzati dal Laboratorio di Spettroscopia Applicata dell'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" (a quel tempo Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche) per misure nel settore dei beni culturali. Questa applicazione fu rivolta allo studio della tavolozza e del colore della superficie pittorica delle scene affrescate di Masaccio e Filippino Lippi nella Cappella Brancacci [23], Chiesa del Carmine in Firenze. In seguito, l'attività principale del lavoro di ricerca è stata indirizzata allo studio dei materiali pittorici e alla valutazione del colore di superfici policrome mediante l'uso e la messa a punto di spettrometri commerciali e specifici accessori [24]-[27].

### METODOLOGIA

La tecnica impiegata per la caratterizzazione del materiale pittorico si basa sull'acquisizione non invasiva e l'analisi di spettri di riflettanza. Con questo termine si definiscono grafici in cui l'intensità della radiazione retro-diffusa dalla superficie investigata è riportata sull'asse delle ordinate in funzione della lunghezza d'onda della radiazione inviata sull'area di misura. Il valore dell'intensità, riportato come percentuale di luce diffusa (riflessa) dalla superficie investigata, è rapportato ad un bianco di riferimento, che si assume diffondente la radiazione incidente al 100% su tutto l'intervallo spettrale considerato. La possibilità di implementare questa metodologia non invasiva tramite spettrofotometri portatili, ad alta precisione ed equipaggiati con fibre ottiche, ha dato origine allo sviluppo di una tecnica specificatamente ottimizzata per diagnostica in-situ su opere d'arte, nota con l'acronimo FORS (Fiber Optic Reflectance Spectroscopy). L'utilizzo delle fibre ottiche permette in particolare di operare su manufatti artistici non trasportabili o comunque di effettuare misure anche su punti dell'opera difficilmente accessibili. Tipicamente la tecnica FORS nell'intervallo spettrale UV-Vis-NIR è impiegata per misure in situ non invasive finalizzate allo studio di pigmenti/coloranti costituenti stesure pittoriche e al monitoraggio delle alterazioni cromatiche.

### STRUMENTAZIONE

Per questo studio sono stati impiegati due spettroanalizzatori Zeiss (modelli MCS 601 e MCS 611 NIR 2,2 WR) che consentono di ottenere spettri di riflettanza nell'intervallo di lunghezze d'onda dall'UV al NIR con un passo di campionamento di 0.8 nm/pixel nell'intervallo di lunghezza d'onda 190-1000 nm (modello MCS 601 UV-Vis con rivelatore lineare di 1024 fotodiodi di silicio) e di circa 6 nm/pixel nell'intervallo 910-2200 nm (MCS 611 NIR 2,2 WR con rivelatore lineare di 256 fotodiodi di InGaAs). I due spettroanalizzatori MCS 601 e MCS 611 NIR 2,2 WR, di recente acquisizione, sono integrati in un unico chassis insieme a una sorgente alogena da 20W con temperatura di colore di circa 3000 K e intervallo di emissione 320-2500 nm (modello CLH500); ciò rende la

strumentazione trasportabile ed estremamente maneggevole, idonea per effettuare misure in situ, senza alcuna necessità di movimentare l'opera.

Per inviare la radiazione sul punto di misura e raccogliere il segnale retro-diffuso dalla superficie analizzata, è stata utilizzata una sonda (geometria di misura  $0^\circ/0^\circ$ ), con cui è possibile investigare un'area di circa 1 mm di diametro. La dimensione dell'area investigata, nel caso in cui si analizzino motivi decorativi ricchi di particolari, non sempre consente di analizzare il dettaglio cromatico di interesse con la certezza di escludere contributi dalle zone adiacenti. Nello studio in questione è stato impiegato un fascio di fibre ottiche a tre bracci: la radiazione elettromagnetica è stata inviata sull'area da investigare perpendicolarmente alla superficie stessa ( $0^\circ$ ) e la radiazione retrodiffusa dalla superficie è stata raccolta e inviata ai sensori dei due spettroanalizzatori mediante gli altri due bracci del fascio di fibre coassiali a quello usato per l'illuminazione ( $0^\circ$ ). La luce retrodiffusa è stata poi analizzata nelle sue componenti tramite i due reticoli disperdenti e successivamente campionata per ottenere lo spettro.



## CAMPIONAMENTI E ANALISI

### ANALISI FTIR

Quando un fotone proveniente dalla radiazione infrarossa incidente viene assorbito da una molecola del campione, questa passa dal suo stato vibrazionale fondamentale ad uno stato vibrazionale eccitato. In un tipico spettro infrarosso in ascissa troviamo una scala di frequenze espresse in numero d'onda, ovvero quantità di onde per centimetro, e in ordinata la percentuale di trasmittanza. Se un materiale è trasparente alla radiazione infrarossa il suo spettro si presenterà come una linea parallela all'asse delle ascisse. Se un materiale non è completamente trasparente si verificheranno degli assorbimenti e quindi delle transizioni tra livelli energetici vibrazionali. In questo secondo caso lo spettro registrato sarà caratterizzato da una serie di picchi di altezza variabile per ciascuna transizione. Ogni materiale è contraddistinto da transizioni caratteristiche e tale indagine sfrutta questo fenomeno per valutare la presenza di sostanze organiche ed inorganiche.

Le analisi spettrofotometriche sono state eseguite mediante spettrometro infrarosso in Trasformata di Fourier (FT-IR) Perkin-Elmer mod. System 2000, gestito dal software Spectrum One. I campioni sono stati analizzati in trasmissione nel range spettrale  $4000-400\text{ cm}^{-1}$ , disperdendone una piccola porzione in KBr per realizzare delle pastiglie di 13 mm di diametro. Alcune indagini sono state effettuate anche impiegando in trasmissione una cella di diamante. Tale accessorio permette analisi puntuali su microcampioni selezionati selettivamente sotto stereomicroscopio.

### ANALISI XRD

Tale tecnica consente di individuare la composizione mineralogica del campione e di effettuare stime semi-quantitative della composizione mineralogica principale.

Le polveri sono state analizzate mediante diffrazione RX. È stato impiegato un diffrattometro Philips modello PW 1729 con le seguenti condizioni operative: radiazione  $\text{CuK}\alpha_1$  ( $\lambda = 1,545\text{ \AA}$ ), velocità del goniometro  $2^\circ/\text{min}$ , intervallo angolare indagato  $3^\circ < 2\theta < 60^\circ$ .

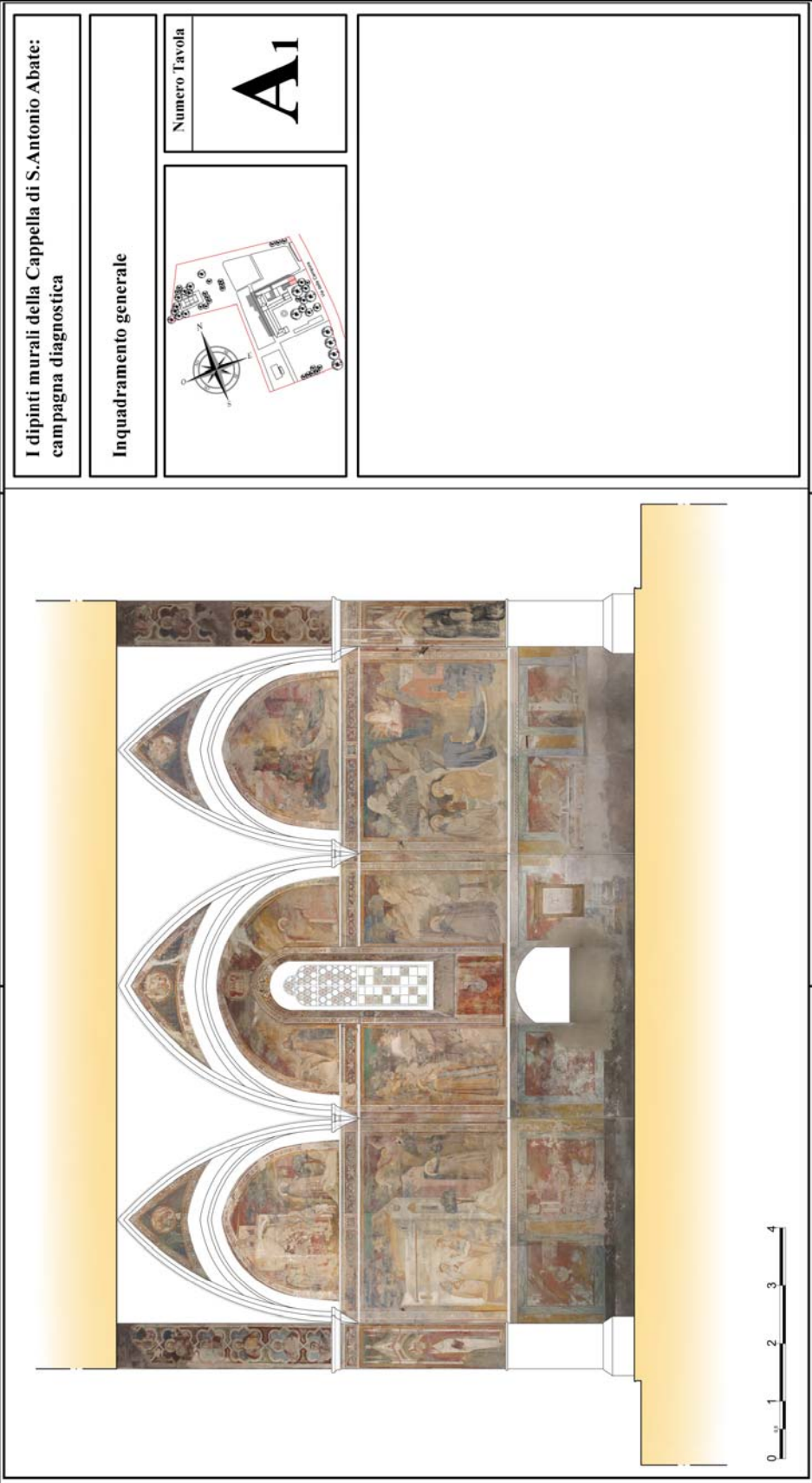
### CROMATOGRAFIA IONICA

Tecnica analitica di grande sensibilità che permette di separare quantità di sostanza molto piccole che vengono identificate poi singolarmente. La separazione avviene mediante la distribuzione dei componenti la miscela in due fasi che hanno proprietà chimico-fisiche differenti (ad esempio due liquidi non miscibili). La cromatografia ionica consente un'analisi sia qualitativa che quantitativa di anioni e cationi. La concentrazione rilevata è espressa in ppm o mg/l e permette, quindi, di determinare quantitativamente la presenza dei sali solubili.

Per questo tipo di analisi è stato utilizzato un cromatografo ionico Dionex ICS 1000 munito di detector a conducibilità, con colonne a scambio ionico e soppressione elettrolitica. Gli anioni sono stati separati attraverso una colonna ionpack AS 4A 4X250mm su cui è montata in serie una precolonna del tipo ionpack AG4A 4X50mm. L'eluente impiegato è una soluzione acquosa di  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (1,8mM) e  $\text{NaHCO}_3$  (1,7mM). Il soppressore è ASRS 300x4mm. I cationi sono stati separati attraverso una colonna ionpack CS12 4X250 mm su cui è montata in serie una precolonna del tipo ionpack CG12 4X50mm. L'eluente impiegato è una soluzione acquosa di Acido metansolfonico 20mM. Il soppressore è CSRS 300x4mm. In entrambi i casi, quantità note di campione vengono addizionate con acqua, tenute sotto agitazione per 24h prima di essere decantate, filtrate ed analizzate.

RISULTATI DELLA CAMPAGNA DIAGNOSTICA

TAVOLA A1



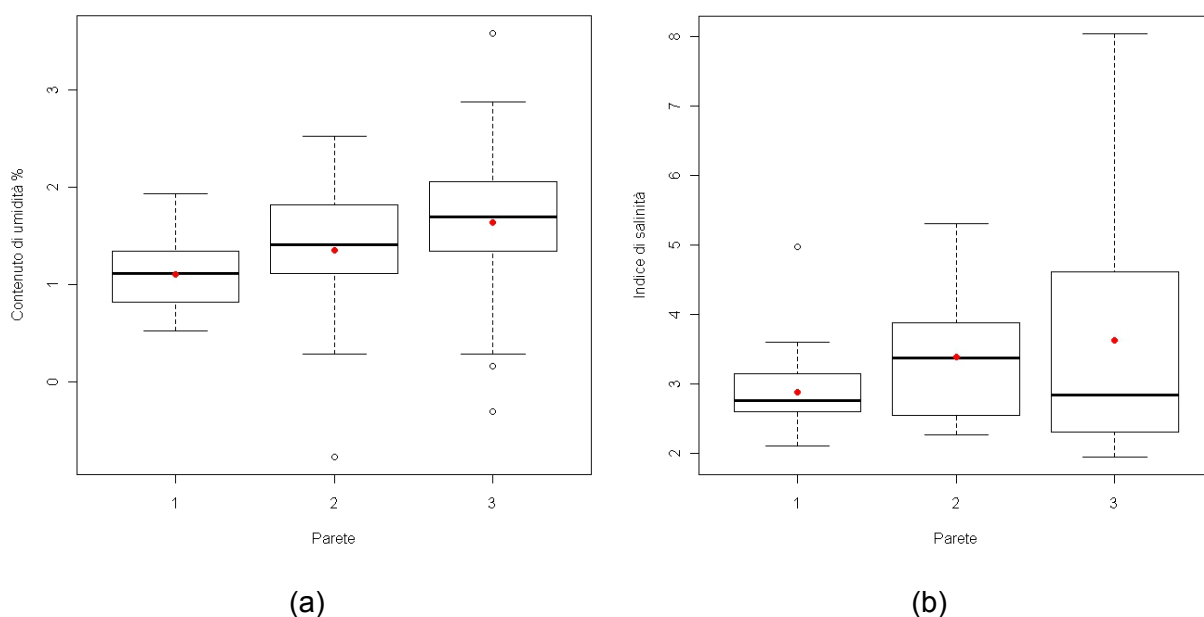
## MAPPE DEL CONTENUTO DI UMIDITÀ E DI SALI SOLUBILI MEDIANTE SUSI

Le misure oggetto della presente relazione sono state seguite in data 9-20 aprile e 25-26 maggio 2010. Sono state eseguite un totale di 213 misure, su 76 punti di misura complessivi.

Le misure hanno interessato gli affreschi sulle pareti e sulla volta della Cappella di S. Antonio abate a Firenze, il cui sviluppo è riportato in Tavola A1. Le campate da sinistra a destra sono numerate da 1 a 3.

I grafici di Figura 5 riassumono i risultati di contenuto di umidità (a) e contenuto di sali (b) ottenuti dalle misure effettuate sulle singole campate.

Il tipo di rappresentazione proposto, detto boxplot<sup>7</sup>, riassume in termini statistici i risultati ottenuti, permette così di avere un'indicazione immediata dello stato del supporto senza però avere l'informazione del singolo stato di misura.



**Figura 5 – Rappresentazione a boxplot della totalità delle misure effettuate. (a) contenuto di umidità, e (b) contenuto di sali.**

Il contenuto di umidità (MC da qui in avanti, da *Moisture Content* nella terminologia standard) non è elevato, e mostra un andamento a crescere spostandosi in senso orario dalla parete di sinistra (1) a quella di destra (3). Lo stesso vale per il contenuto di sali (SI da qui in avanti, da *Salinity Index*), i cui valori massimi (nel boxplot a destra del grafico (b), in Figura 5) sono dovuti alla “toppa” in cemento sulla parte inferiore della zona decorata a finti marmi della parete 3.

Le misure su ciascuna parete hanno riguardato tre linee verticali approssimativamente equispaziate, lungo le quali sono stati rilevati i valori di MC e di SI a varie altezze (vedi Figura 6). Il

<sup>7</sup> In statistica il **box-plot**, detto anche **box and whiskers plot** (*diagramma a scatola e baffi*), è una rappresentazione grafica utilizzata per descrivere la distribuzione dei dati tramite semplici indici di *dispersione* e di *posizione*. Per una corretta interpretazione di questo tipo di grafico è necessario ricordare che per ogni gruppo di dati il corrispondente rettangolo (la “scatola”) è delimitato, partendo dal basso, dal primo ( $q_{1/4}$ ) e terzo ( $q_{3/4}$ ) quartile (i *quartili* sono valori che ripartiscono l'insieme dei dati in 4 parti ugualmente popolate, che hanno lo stesso numero di valori). Il rettangolo è poi diviso al suo interno dalla mediana,  $q_{1/2}$  (nel caso di una distribuzione uniforme media e mediana coincidono). I segmenti (i “baffi”) sono delimitati dal minimo e dal massimo dei valori. In questo modo vengono rappresentati graficamente i quattro intervalli ugualmente popolati delimitati dai quartili. Con il cerchietto rosso è indicato il valore medio.

numero di punti sulla verticale centrale della parte 2 è ridotto dalla presenza della finestra e della nicchia. Per un maggiore dettaglio sulla localizzazione dei punti di misura consultare la Tavola A2 per la parete 1, la Tavola A3 per la parete 2 e la Tavola A4 per la parete 3.



**Figura 6 – Rappresentazione delle verticali di misura sulle singole pareti**

L'elenco delle coordinate dei punti di misura è riportato in Tabella I. Le distanze riportate nella colonna "Posizione" si riferiscono alle distanze in orizzontale delle tre linee misurate a partire dal lato sinistro di ogni parete.

**Tabella I – Elenco delle coordinate dei punti di misura scelti sulle 3 pareti**

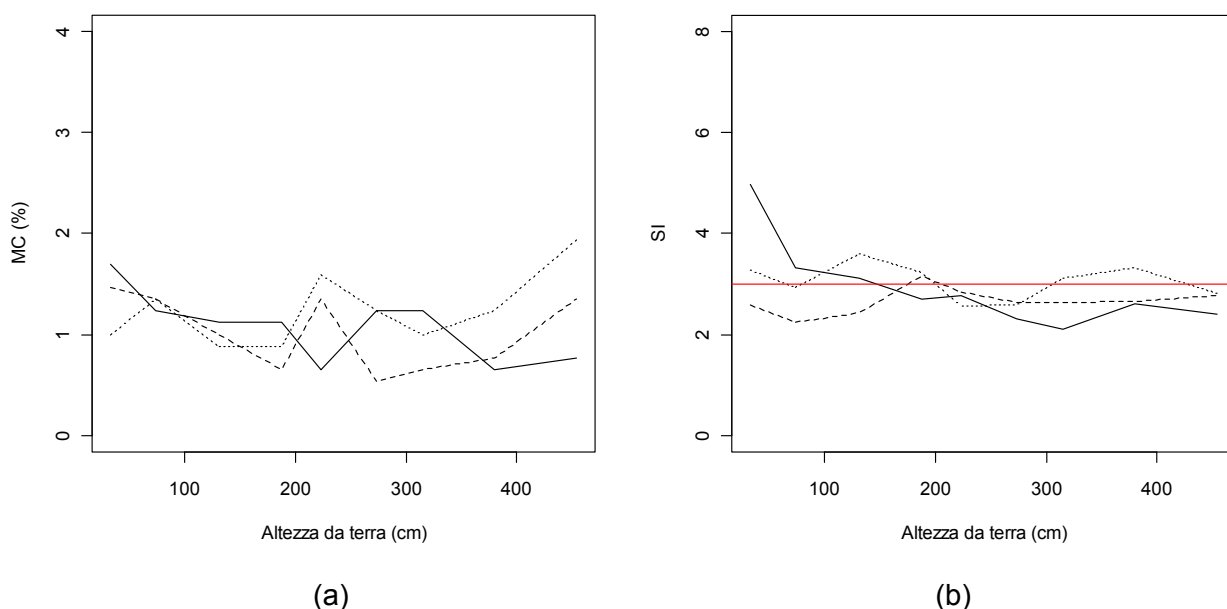
<b>Parete</b>	<b>Posizione [cm]</b>	<b>Quota [cm]</b>
1	90	33, 73, 131, 187, 223, 273, 315, 380, 454
1	184	33, 73, 131, 187, 223, 273, 315, 380, 454
1	292	33, 73, 131, 187, 223, 273, 315, 380, 454
2	86	30, 71, 130, 188, 220, 276, 315, 380, 454
2	229	30, 71, 220, 290 <sup>8</sup>
2	364	30, 71, 130, 188, 220, 276, 315, 380, 454
3	102	33, 106, 132, 190, 224, 270, 315, 380, 454
3	176	33, 70, 132, 190, 224, 270, 315, 380, 454
3	271	33, 70, 132, 190, 224, 270, 315, 380, 454

<sup>8</sup> Il numero di punti sulla seconda verticale è limitato dalla presenza della finestra

In totale, la panoramica di misure eseguite in data 9 aprile 2010 ha riguardato 76 punti di misura.

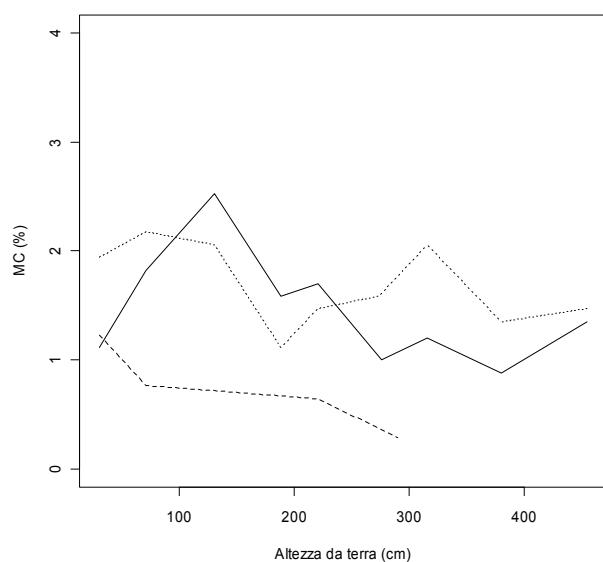
Le figure seguenti, da 2 a 4, mostrano in dettaglio i risultati delle misure di MC (a) e di SI (b) rispettivamente per le pareti 1, 2 e 3. La linea rossa indica il valore “limite” di SI scelto per individuare punti su cui approfondire l'indagine in merito al contenuto salino e sui quali, successivamente, eseguire i prelievi. Le linee continue si riferiscono alla verticale di sinistra fronte alla parete, le linee a tratteggio si riferiscono alla verticale al centro della parete e le linee a punti alla verticale sul lato destro della parete in esame (per le coordinate dei punti di misura fare riferimento alla Tabella I).

Sulla parete 1 (Figura 7) i valori di MC sono circa costanti e inferiori al 2%, e mostrano una lieve tendenza a crescere agli estremi della parete (in alto e in basso). I valori di SI sono inferiori a 3, tranne che nella zona bassa della parete fino ad un'altezza di circa 80cm da terra. È da evidenziare che tali valori sono relativi a MC inferiori al 2%. Si è pertanto ritenuto utile eseguire un tampone con pasta di cellulosa con acqua demineralizzata sui punti che presentano valori di SI superiori a 3 al fine di enfatizzare la risposta del SUSI portando in soluzione eventuali elettroliti presenti.

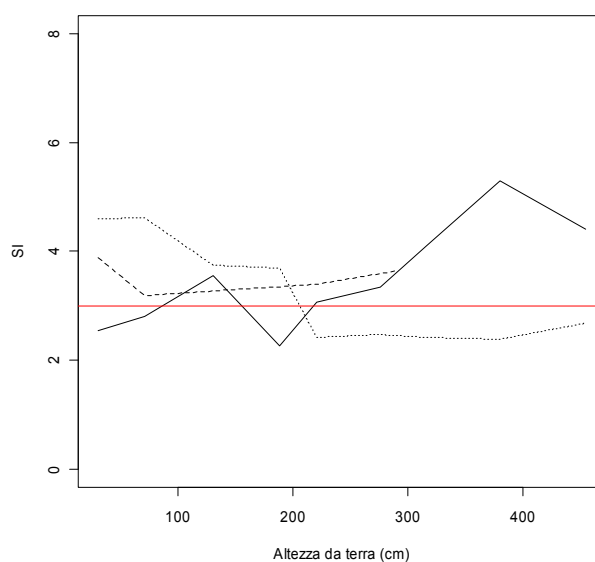


**Figura 7 – Parete 1, misure di MC (a) e di SI (b)**

Sulla parete 2 (Figura 8) i valori di MC sono inferiori al 2.5%, mostrando un massimo sulla verticale più vicina alla parete 1. Si noti la mancanza di dati sulla verticale centrale a causa della presenza della finestra e di una nicchia al di sotto della stessa. I valori di SI sono abbastanza elevati, su tutte e tre le verticali, con valori massimi dell'ordine di 5 (salinità medio-alta).



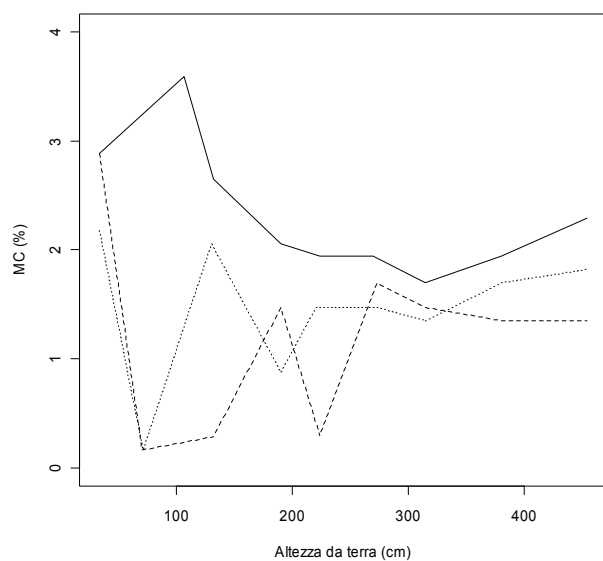
(a)



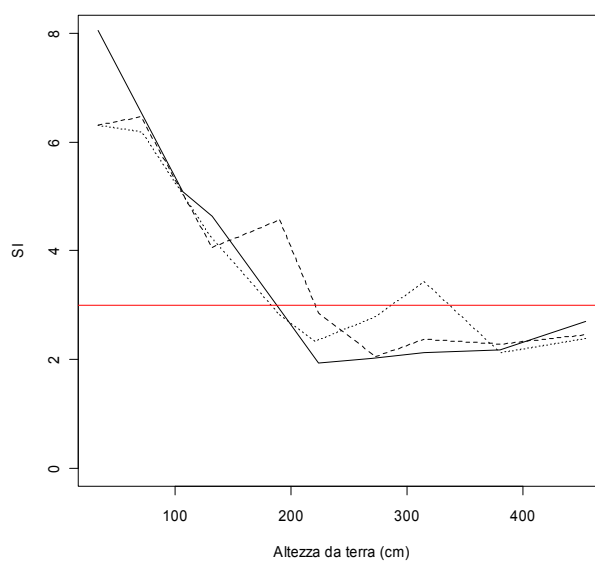
(b)

**Figura 8 – Parete 2, misure di MC (a) e di SI (b)**

Sulla parete 3 MC raggiunge valori dell'ordine del 3.5%. sulla verticale più vicina alla parete 2. I valori di SI sono generalmente inferiori a 4, ad eccezione dei punti di misura sulla malta cementizia, nella parte bassa della zona decorata a finti marmi (si veda la foto in Figura 10).



(a)



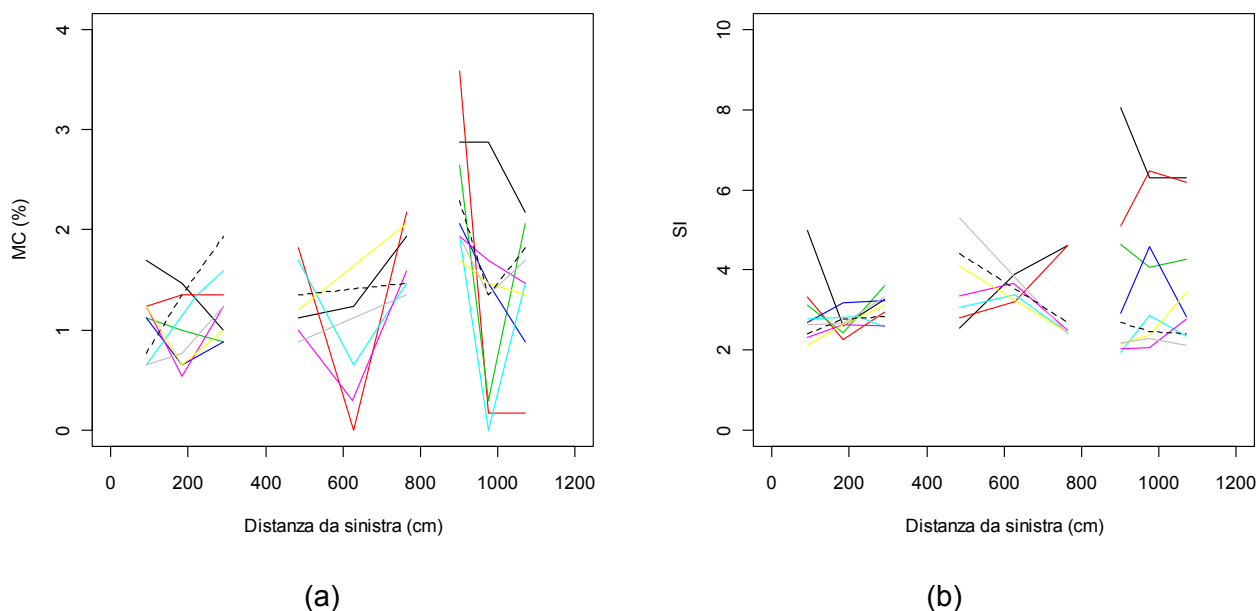
(b)

**Figura 9 – Parete 3, misure di MC (a) e di SI (b)**



**Figura 10 – Zona rifatta a cemento della parte bassa della parete decorata a finto marmo**

La Figura 11 riassume le misure del 9 aprile sulle tre pareti, relativamente a MC (a) e a SI (b). Le varie curve si riferiscono alle diverse quote verticali, e la distanza orizzontale è misurata a partire dal lato sinistro della parete 1.



**Figura 11 – Sommario delle misure di MC (a) e di SI (b) in funzione della distanza orizzontale**

L'umidità è massima sulla parete 3. L'indice di salinità dipende invece principalmente dalla quota. I valori elevati sulla parete 3 (curve nera e rossa, a destra) sono infatti da trascurare in quanto rilevati sul rifacimento di cemento nella parte inferiore della parete decorata a finti marmi.

Sulla base delle misure del 9 aprile, in data 20 aprile sono stati eseguiti tamponi, della durata di 15 minuti ciascuno, su punti di misura appartenenti a due tra le quote di cui alla Tabella I. Con riferimento alla tabella dei dati misurati, riportata in Appendice 2, sono state scelte due "anelli" alle quote di 33cm e 131cm da terra (corrispondenti ai valori 1 e 3 dell'indice *riga* della tabella suddetta). In Figura 12 è mostrato un esempio di applicazione dei tamponi di pasta di cellulosa bagnata con acqua distillata.

I valori di MC sono stati misurati prima dell'applicazione del tampone (parete asciutta), immediatamente dopo la rimozione dello stesso, e a distanza di circa 3 minuti dalla rimozione.





**Figura 12 – Applicazione di tamponi sui punti di misura scelti per approfondimento di indagini**

I tamponi eseguiti sono in totale 17: 9 (uno per ogni verticale) alla quota di 33cm, 8 (il punto in corrispondenza della seconda verticale della parete 2 non esiste) alla quota di 131cm.

Le figure (a) in Figura 13, Figura 14 e Figura 15 mostrano l'effetto dei tamponi sul contenuto di umidità MC. In seguito all'assorbimento d'acqua da parte del supporto la parete, nelle zone sottoposte a tampone, il valore di SI, in riportato in (b) nelle predette figure, cambia nel tempo (vedi ancora Figura 13, Figura 14 e Figura 15).

In conseguenza dell'assorbimento d'acqua da parte della supporto, i valori di SI generalmente decrescono a causa dell'effetto di trasporto di massa causato dal flusso d'acqua in ingresso. La tendenza a crescere di nuovo dopo soli tre minuti dalla rimozione del tampone convalida sostanzialmente quanto osservato sulla parete asciutta, relativamente alla presenza di sali solubili.



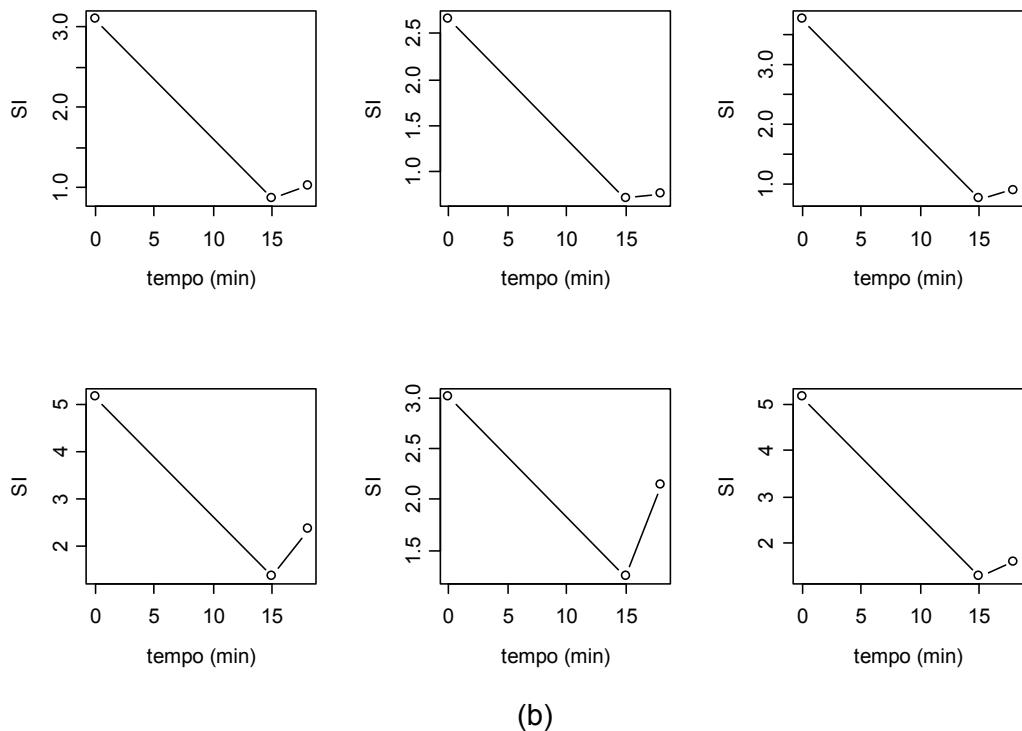
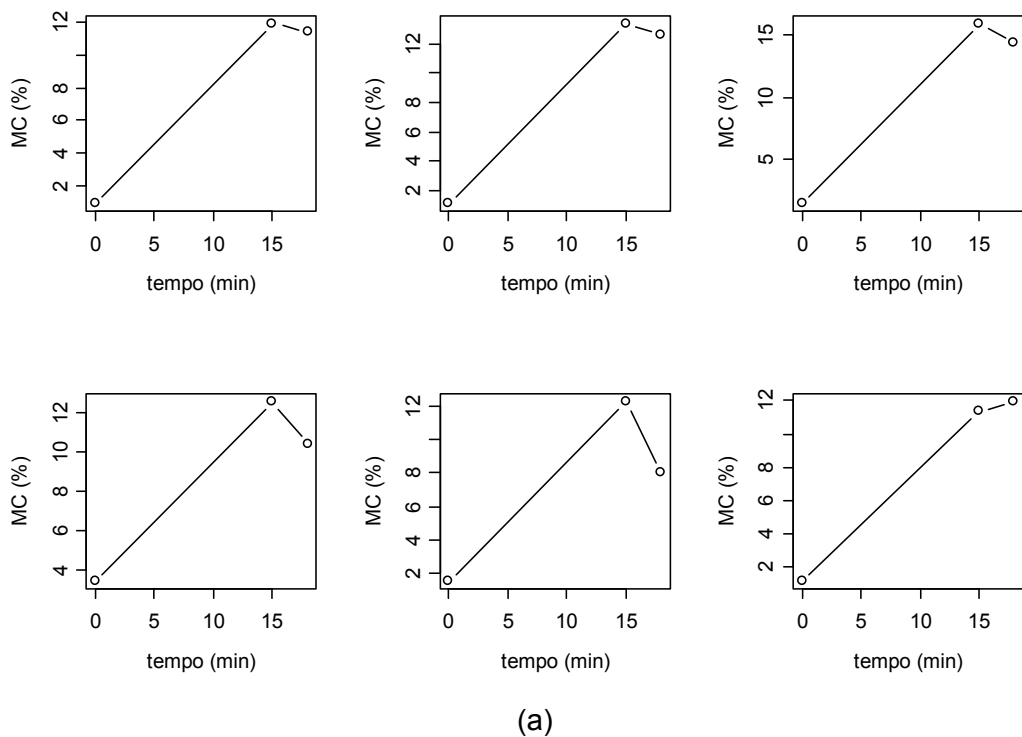
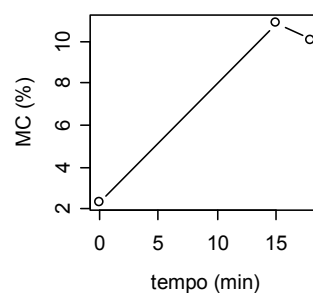
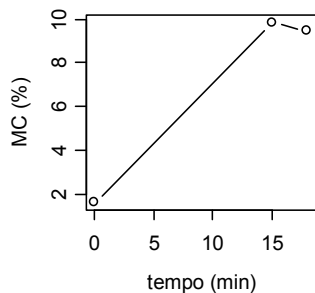
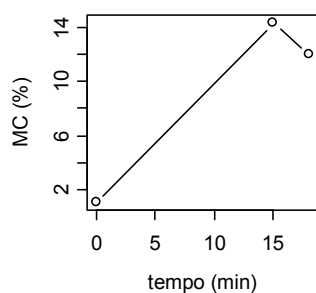
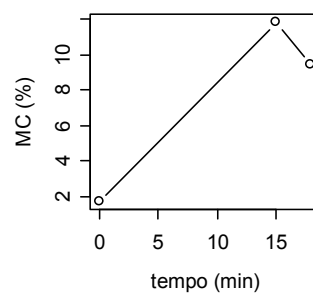
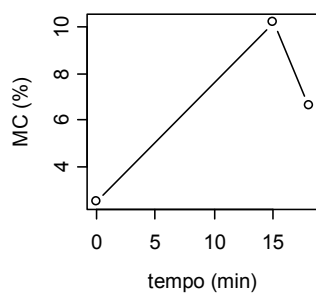
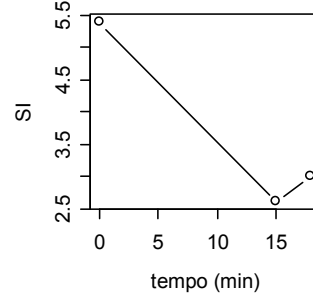
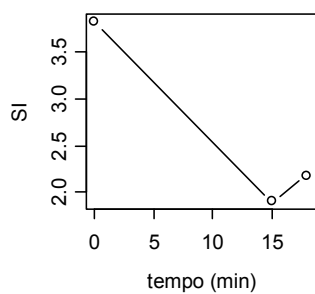
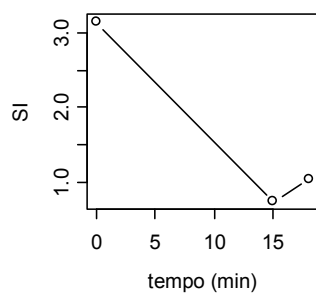
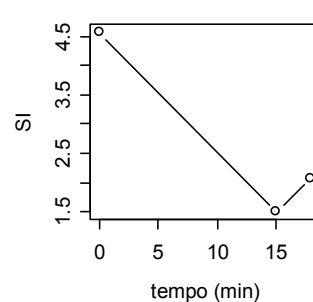
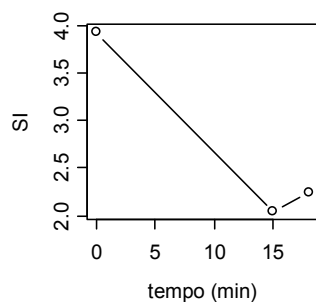


Figura 13 – Parete 1, MC (a) e SI (b) alle quote di 33 cm (grafici in basso) e 131 cm (grafici in alto)

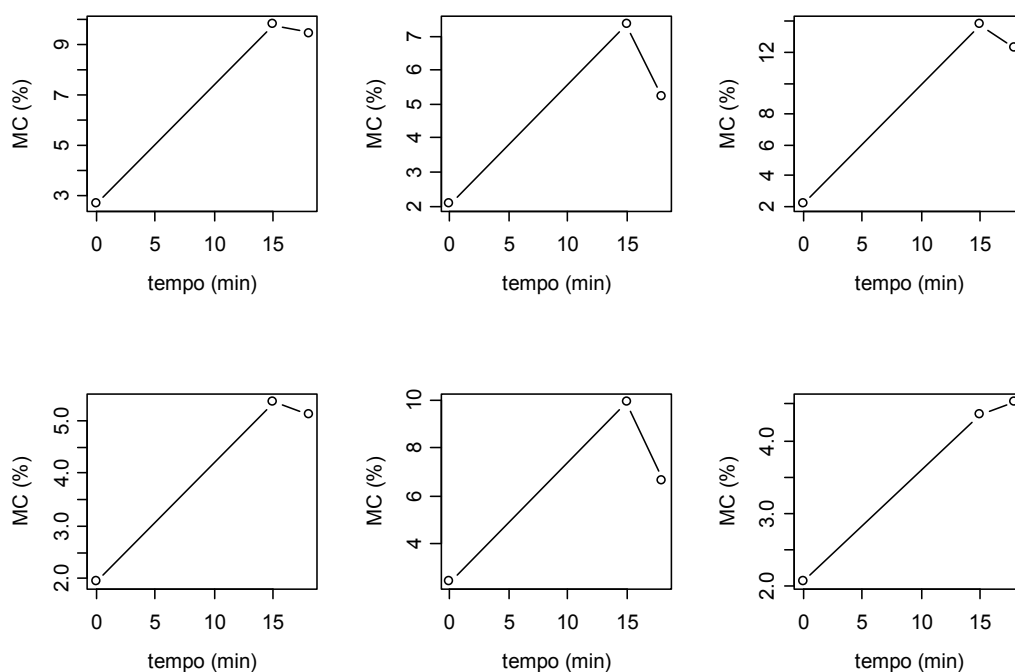


(a)

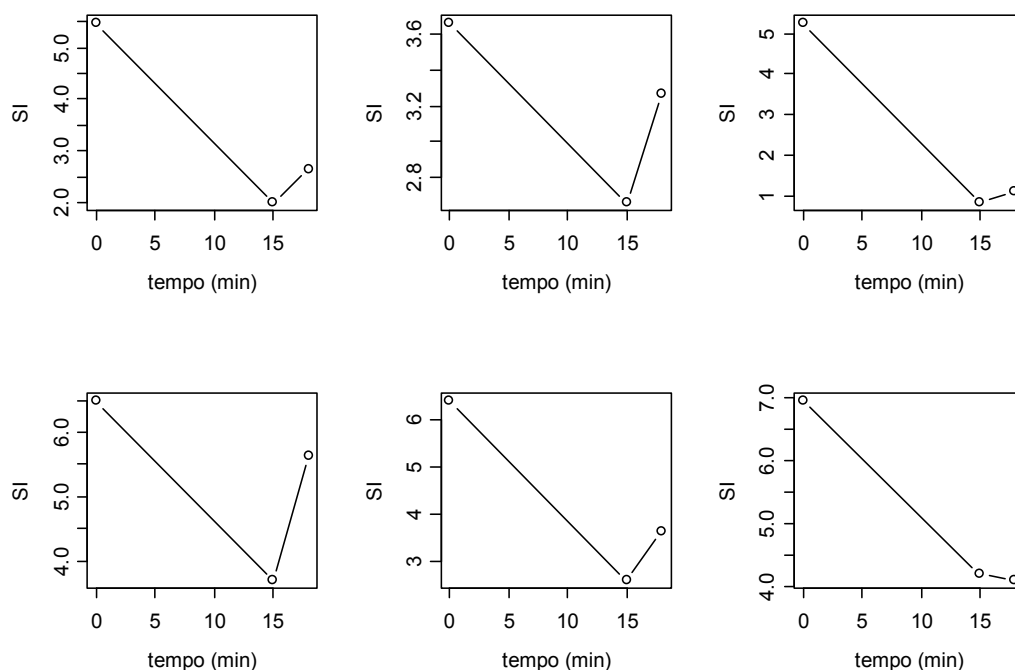


(b)

Figura 14 – Parete 2, MC (a) e SI (b) alle quote di 33 cm (grafici in basso) e 131 cm (grafici in alto)



(a)



(b)

Figura 15 – Parete 3, MC (a) e SI (b) alle quote di 33 cm (grafici in basso) e 131 cm (grafici in alto)

In conseguenza dell'assorbimento d'acqua da parte della parete, i valori di SI generalmente decrescono a causa dell'effetto di trasporto di massa causato dal flusso d'acqua in ingresso. **La tendenza a crescere di nuovo dopo soli tre minuti dalla rimozione del tampone convalida sostanzialmente quanto osservato sulla parete asciutta, relativamente alla presenza di sali solubili.**

28

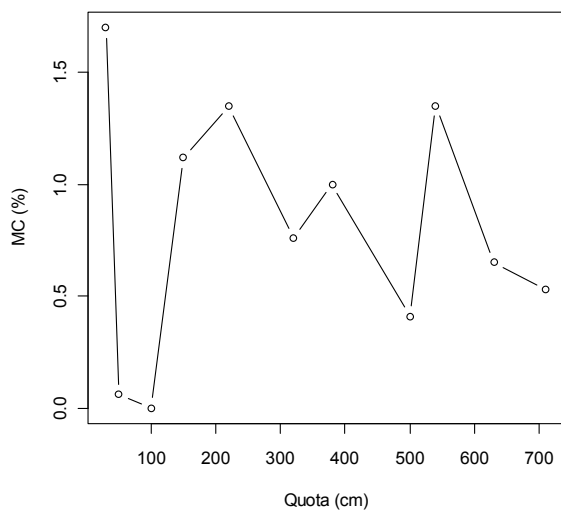


**Figura 17 – Punti di misura sulla volta**

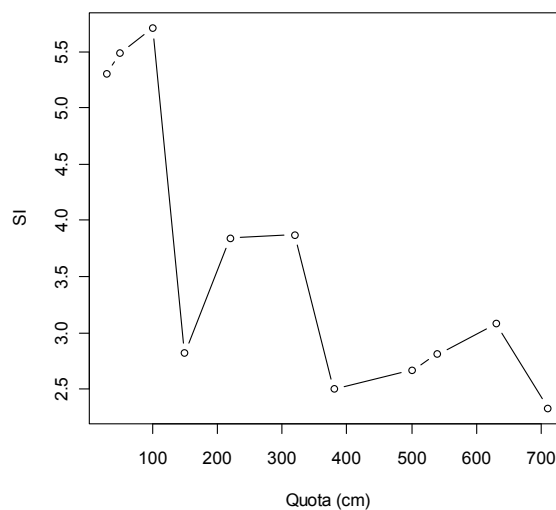


**Figura 18 – Punti di misura sulla zona con presenza di macchie scure sulla parete 1**

- (1) La Figura 19 mostra rispettivamente i valori di MC (a) e di SI (b) misurati in verticale, a quote tra 30cm e 7,10m da terra, ad una distanza di 130cm dalla parte di destra, la verticale è parallela alla finestra Figura 16.



(a)



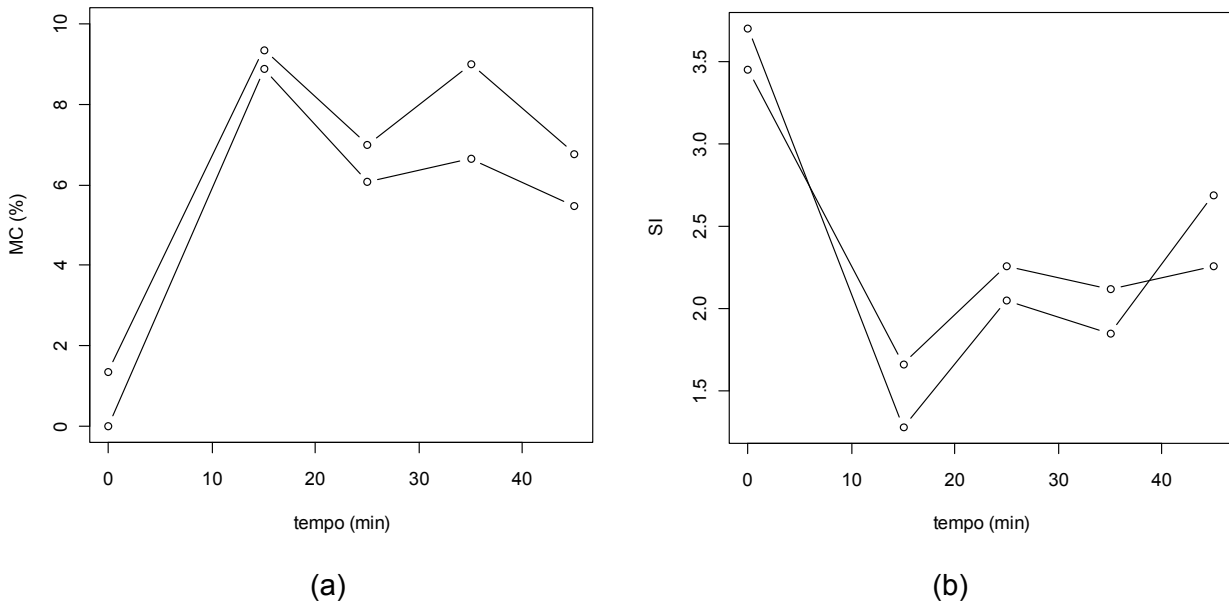
(b)

**Figura 19 – Punti di misura di MC (a) e SI (b) sulla verticale indicata in Figura 23**

MC è praticamente costante sulla verticale (e piuttosto basso), mentre SI cresce verso il basso.

(2) Sulla volta sono stati scelti due punti di misura, indicati in Figura 17.

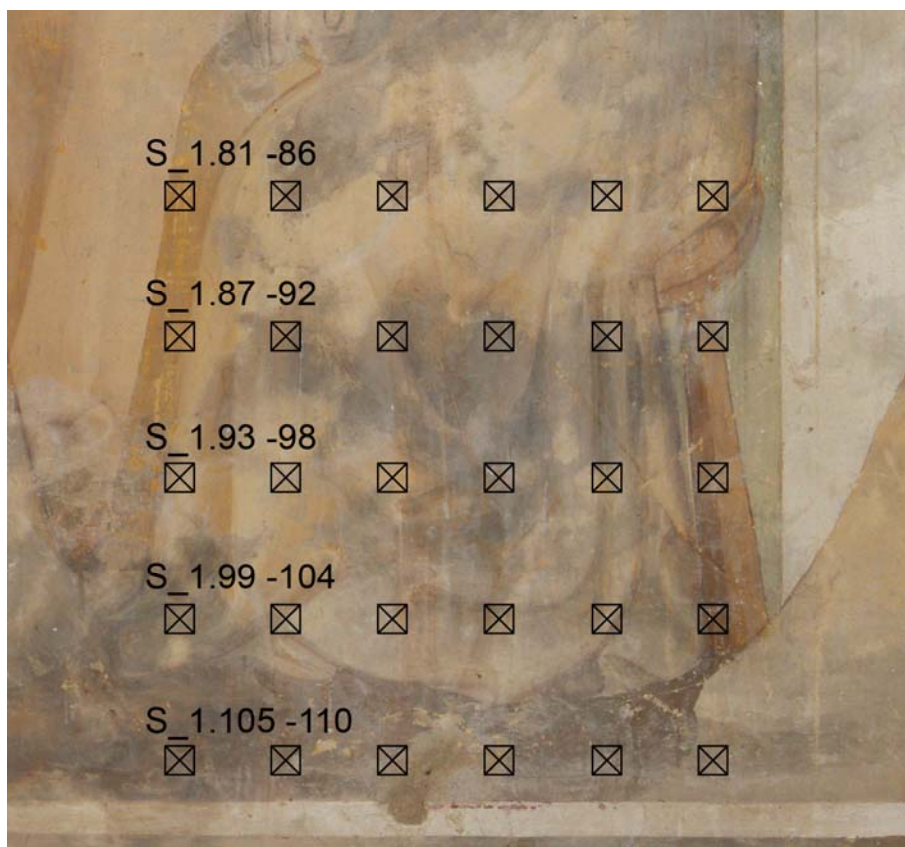
In corrispondenza dei due punti di misura selezionati sono stati fatti due tamponi di pasta di cellulosa (come descritto in precedenza) con l'intenzione di mantenerli applicati per 10 minuti, invece il tampone sul punto di misura S\_1.79 (guardando la finestra a dx) è caduto dopo 7 minuti. Le misure sono state eseguite su ogni punto di misura dopo 15 minuti, ovvero dopo la rimozione del tampone dal punto di misura S\_1.80. I valori di MC e SI sono rappresentati graficamente in Figura 20.



**Figura 20 –MC (a) e SI (b) dei punti di misura sulla volta**

I valori di SI misurati sono dell'ordine di 3.5 con supporto asciutto, ad indicare una moderata presenza di sali solubili. L'indice Si dopo essere tornato a valori normali tende a tornare al valore iniziale, questo potrebbe essere imputato alla presenza di sali nel supporto non solo superficiali (per esempio di solfatazione) dato che dopo un'iniziale decremento del contenuto salino dovuto all'apporto di acqua, il fenomeno di evaporazione tende a richiamare Sali sub-superficiali.

(3) Infine, è stata valutata la presenza di sali su una regione quadrata di 60x60cm sulla parete 1 (Figura 18). La foto in Figura 21 mostra il particolare della zona in cui è stato eseguito l'impacco con polpa di cellulosa e acqua distillata e i punti di misura per la valutazione della presenza di sali sub-superficiale.



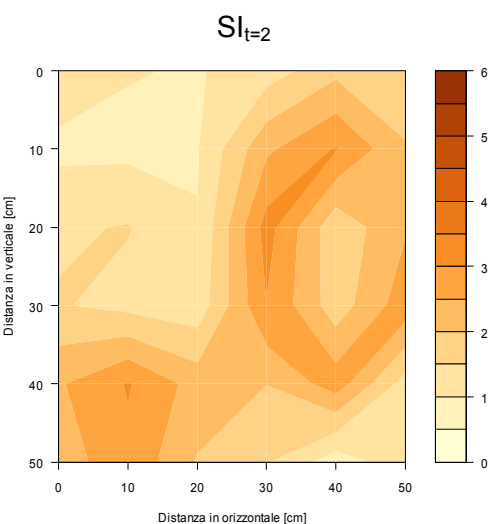
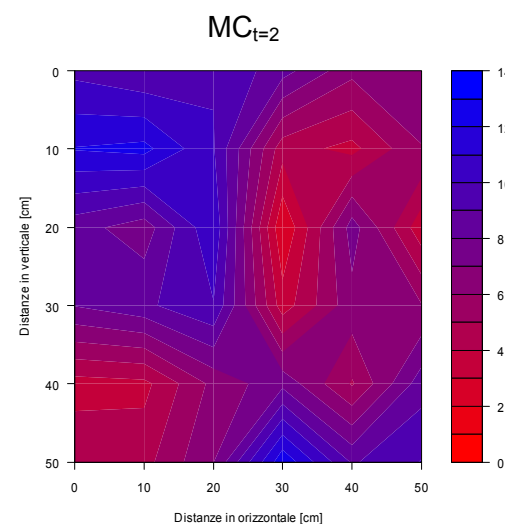
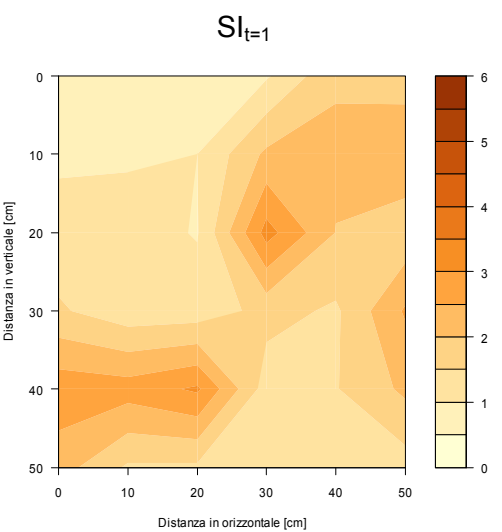
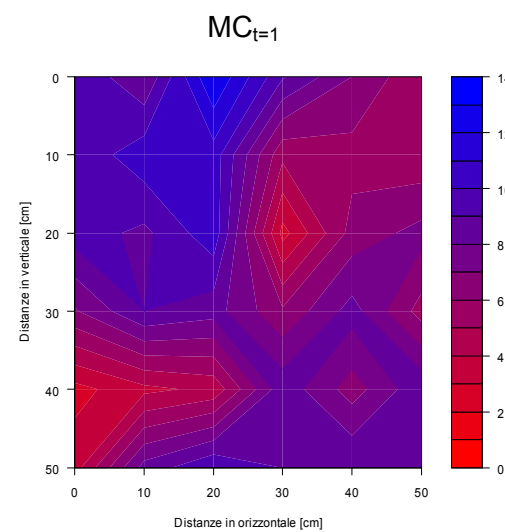
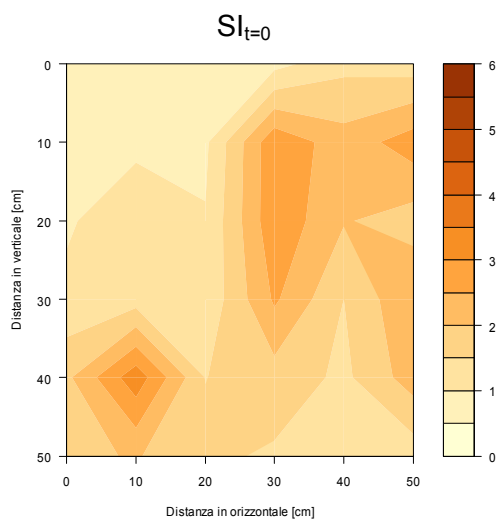
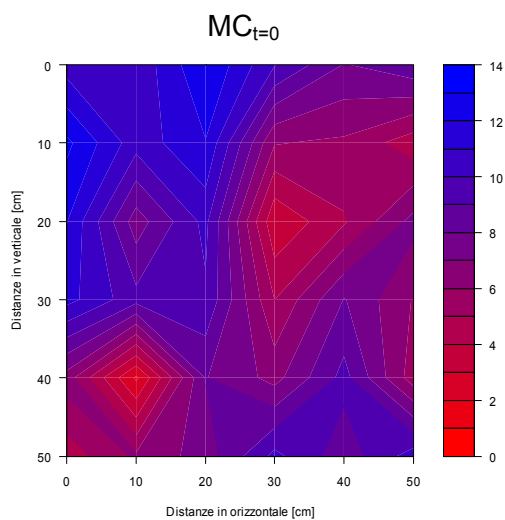
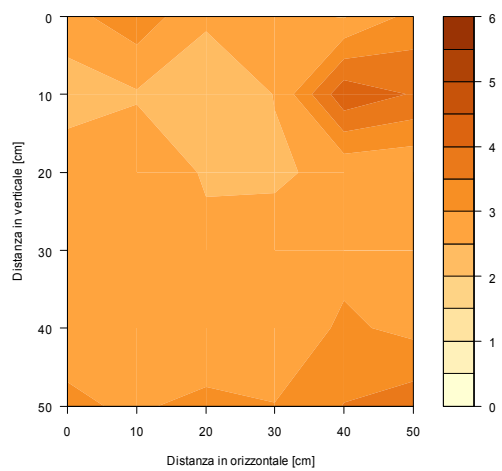
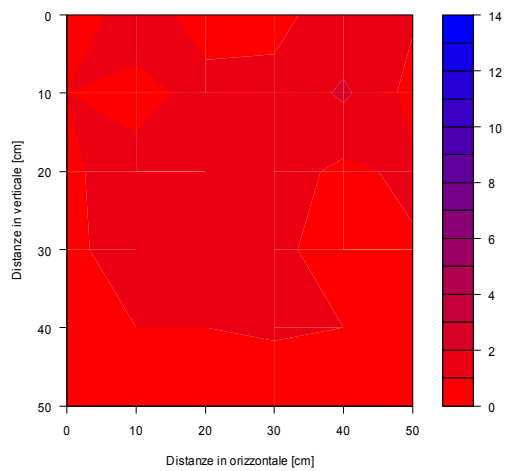
**Figura 21 – Particolare sulla parete1 della zona interessata dall'impacco (vedi Figura 18) e grigliato di misura per la valutazione di SI**

La zona dell'impacco presenta delle macchie scure che necessitano un supplemento di indagine, per il momento non invasiva, per determinarne l'origine delle macchie. La zona interessata dall'impacco è stata suddivisa, da un grigliato immaginario, in  $6 \times 6 = 36$  quadrati. Al centro di ogni quadrato è stato preso il punto di misura, i punti di misura sono tra loro equispaziati di circa 8cm. Sono state eseguite 4 serie di misure nel tempo (il primo set di misure prima dell'applicazione dell'impacco – riferimento – gli altri subito dopo la rimozione dell'impacco e a distanza di 50 e di 90 minuti dalla rimozione stessa). In totale sono state eseguite 144 misurazioni.

In Figura 22 sono riportate le mappe della zona investigata del contenuto di umidità, (nella colonna di sinistra) e del contenuto di sali (nella colonna di destra) a vari istanti di tempo  $t=0$  (prima dell'impacco),  $t=1$  (subito dopo la rimozione),  $t=2$  (50 minuti dopo la rimozione dell'impacco) e  $t=3$  (90 minuti dopo la rimozione dell'impacco).

Sull'asse orizzontale e verticale dei grafici sono riportate le distanze in centimetri; la barra a destra di ciascun grafico indica la corrispondenza dei colori con i valori rilevati.





**Figura 22 – Parete1, variazione di MC e SI dopo l'applicazione dell'impacco**

È presente una zona del supporto con evidente contenuto salino, il cui centro è  $x=30\text{cm}$  e  $y=20\text{cm}$  (vedi immagini di SI in Figura 22). Tale porzione del supporto è in corrispondenza di una delle macchie scure che contraddistinguono questa porzione del primo registro della parte 1. Un riscontro approfondito sulla natura di tali macchie è presentato nel capitolo del campionamento (pagina 51).

TAVOLA A2

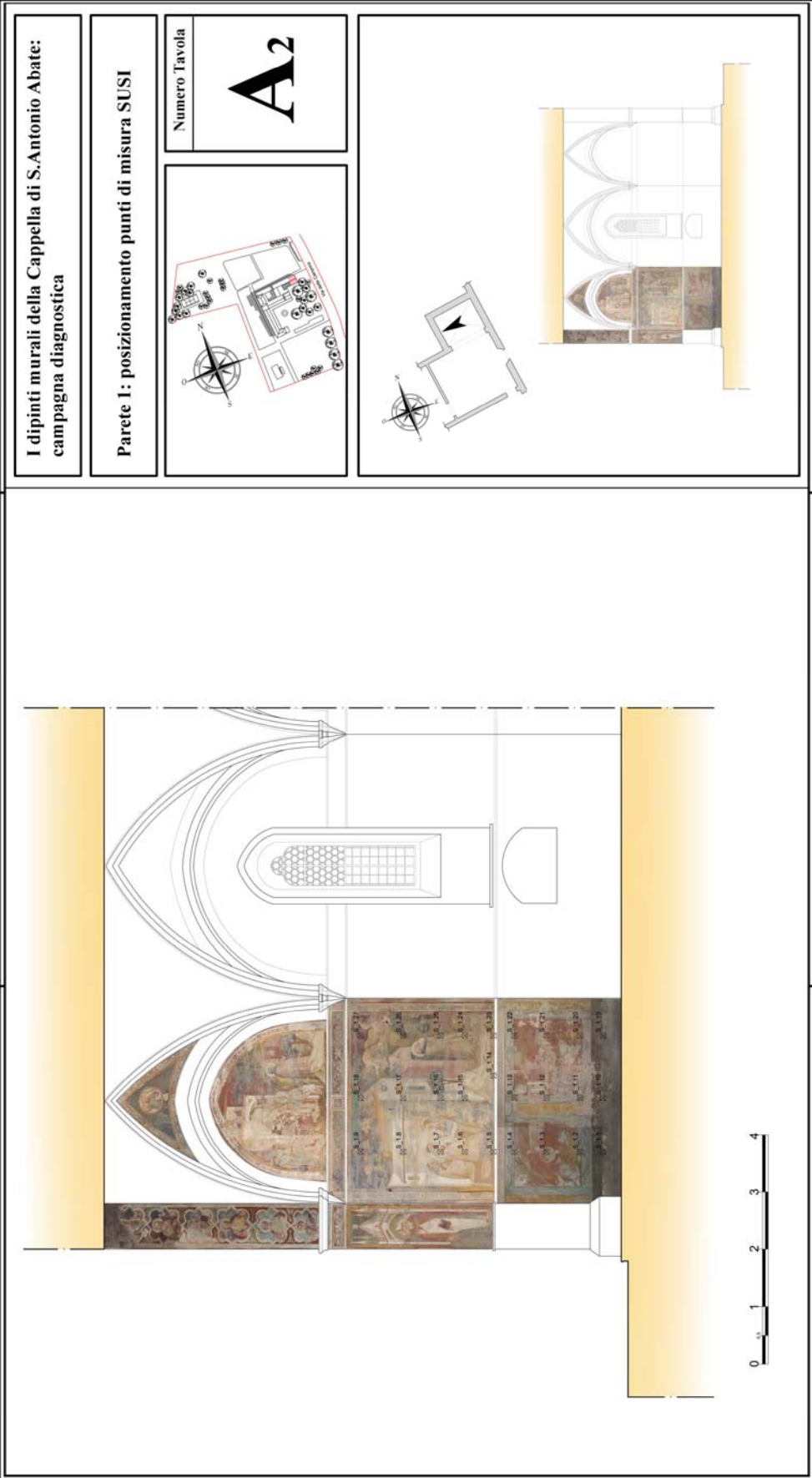


TAVOLA A3

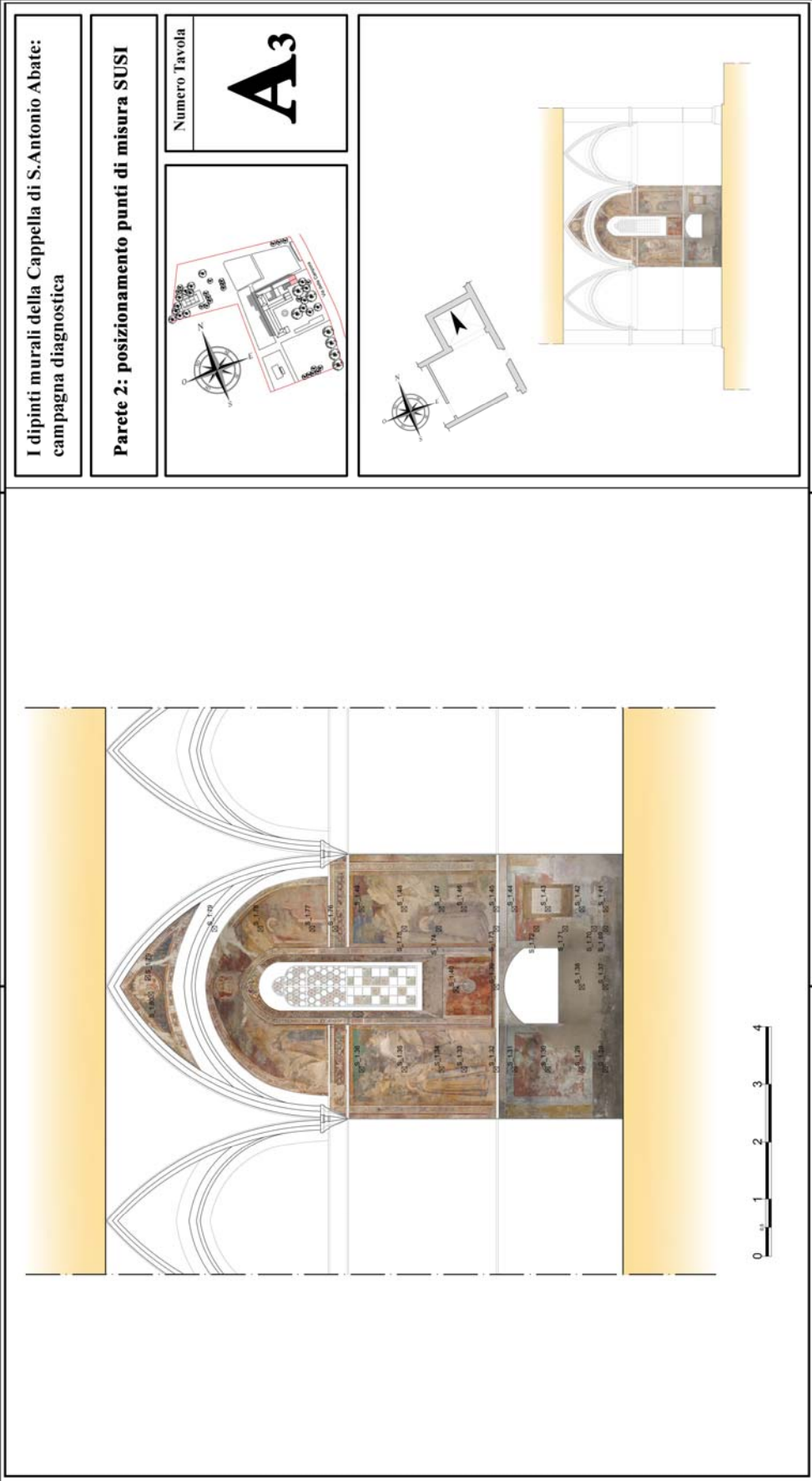
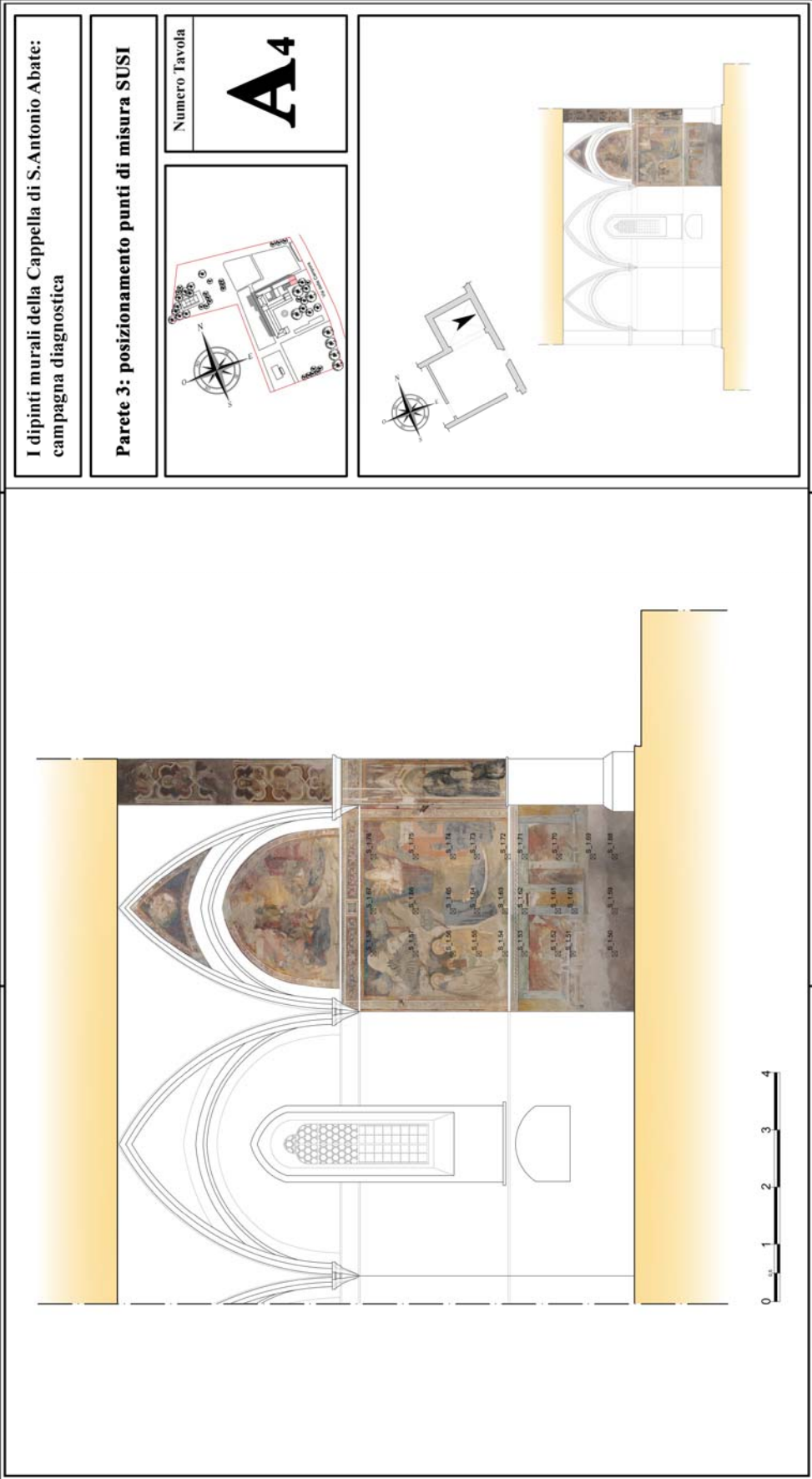


TAVOLA A4



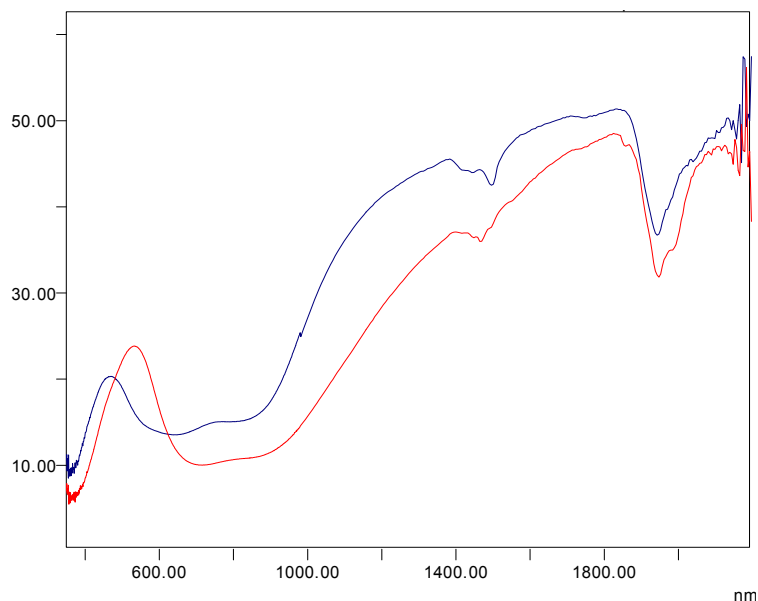
## SPETTROSCOPIA IN RIFLETTANZA A FIBRE OTTICHE, FORS

Le misure FORS, oggetto della presente relazione tecnico-scientifica, sono state effettuate in due distinte sessioni, il 28 Maggio e il 25 Giugno 2010. In tutto sono stati acquisiti 89 spettri di riflettanza nell'intervallo spettrale 350-2200 nm.

Le misure FORS sono state effettuate su piccole aree (circa 1 mm in diametro) della superficie pittorica al fine di determinare la tavolozza dei colori impiegati e la presenza di eventuali prodotti di alterazione e/o di successivi interventi conservativi. L'identificazione dei materiali presenti avviene tramite comparazione degli spettri di riflettanza acquisiti sull'opera con quelli ottenuti su stesure pittoriche di riferimento. Se la corrispondenza di questi spettri non è totale, a causa della presenza di miscele o di intense alterazioni dei materiali pittorici, l'attribuzione degli spettri può effettuarsi con l'ausilio dei dati ottenuti con altre tecniche analitiche non-invasive (XRF, medio IR FORS, Fluorescenza UV). Tuttavia, in alcuni casi, l'identificazione dei prodotti presenti può rimanere a livello di ipotesi/proposta se la tecnica di indagine utilizzata non è in grado di fornire informazioni esaustive sulla composizione reale dell'area studiata. In questi casi è auspicabile un approfondimento dell'indagine mediante tecniche analitiche micro-invasive tramite analisi di microcampioni prelevati dall'opera.

Nelle tabelle (Tabella II, Tabella III e Tabella IV) sono riportate la descrizione dei punti di misura FORS e l'identificazione tentativa dei pigmenti presenti. L'ultima colonna a sinistra è riferita ad una stima della quantità del gesso ed è stata formulata sulla base dell'osservazione dell'intensità delle tre sotto-bande caratteristiche di questo materiale.

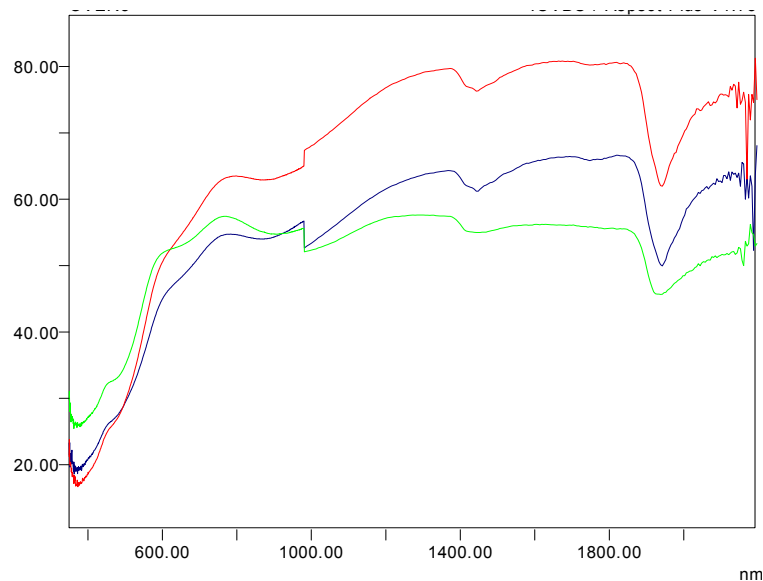
Dalle misure FORS è emerso che le campiture blu analizzate sono tutte a base di azzurrite,  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  che mostra nello spettro un massimo di riflettanza intorno a 470 nm e una banda di assorbimento intorno a 750-800 nm, riferibile alle transizioni elettroniche dello ione  $\text{Cu}(\text{II})$ . Intorno a 1500 nm si ha invece una banda caratteristica del pigmento dovuta alla prima overtone dello stretching dell'OH. In corrispondenza di alcune aree realizzate con tale pigmento si assiste ad un viraggio cromatico dal blu al verde-ciano. Si tratta di un particolare caso di alterazione dell'azzurrite in cui si assiste alla trasformazione del carbonato basico di rame in cloruro basico di rame  $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$  di colore verde, nelle due forme cristalline paratacamite (romboedrica) o atacamite (orto rombica), trasformazione visibile negli spettri di riflettanza (Figura 23), tuttavia da confermare con altre tecniche.



**Figura 23 – Spettri di riflettanza in corrispondenza di una campitura realizzata con azzurrite. In blu lo spettro riferito ad un punto in cui la tinta appare blu, in rosso quello relativo ad una zona in cui è presente un’alterazione del pigmento azzurrite, con un viraggio del colore da blu a verde-ciano.**

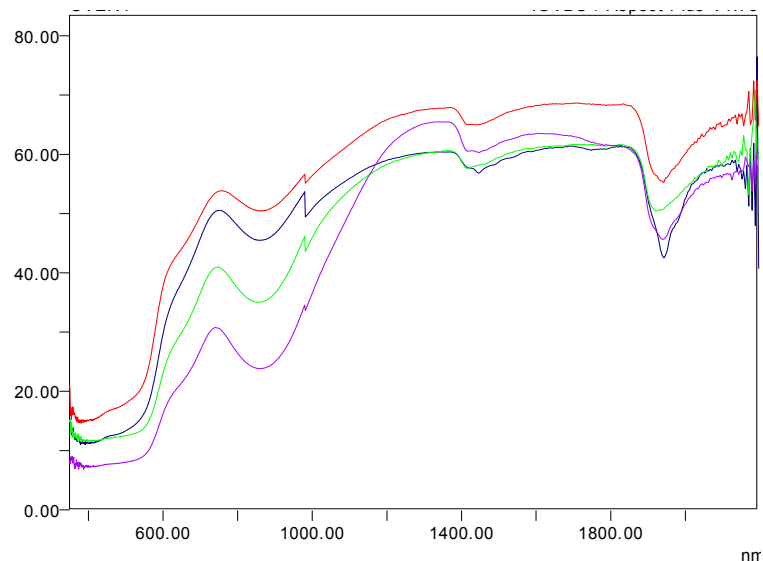
Le campiture verdi sono state ottenute mediante l’uso della terra verde, miscela di fillosilicati di ferro, quali la glauconite,  $(K,Na,Ca)_{1.2-2.0}(Fe^{+3},Al,Fe^{+2},Mg)_4(Si_{7-7.6}Al_{1-0.4}O_{20})(OH)_4 \cdot nH_2O$ , e la celadonite,  $K(Mg,Fe^{2+})(Fe^{3+},Al)[Si_4O_{10}](OH)_2$ , normalmente applicata a fresco direttamente sull’intonaco come campitura di fondo. Lo spettro di questo pigmento presenta alcune bande di assorbimento dovute alle transizioni del Fe(II) e Fe(III), di cui la più intensa, relativa al Fe(III), si trova a circa 370 nm, mentre altre più deboli sono posizionate a circa 740 nm e 920 nm.

Le campiture gialle e brune sono realizzate principalmente a base di idrossidi di ferro, quali ocre gialle e terre naturali, il cui costituente principale è il minerale goetite ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), spesso in miscela con altri pigmenti. Gli spettri dei pigmenti a base di idrossidi di ferro presentano alcune bande di assorbimento dovute alle transizioni del Fe(III) (Figura 24), di cui la principale è a 380 nm, mentre le altre tre più deboli sono posizionate a 480-500 nm, 650 nm e 900 nm. I massimi di riflettanza si trovano a 450 nm (il meno intenso), 580-600 nm e 740-760 nm (il più intenso).



**Figura 24 – Spettri di riflettanza di tre punti in corrispondenza di campiture di colore bruno-giallo. Sono visibili gli assorbimenti tipici dei pigmenti a base di idrossidi di ferro.**

Le aree rosse sono state ottenute con terre e ocre rosse a base di ossidi di ferro, minerale ematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Negli spettri di questi pigmenti è possibile notare, oltre al marcato massimo di riflettanza a 740-760 nm, una banda di assorbimento molto intensa tra 380 e 500 nm con massimo intorno a 430 nm, e altri due assorbimenti più deboli intorno a 650 e 850 nm, dovuti a transizioni del Fe(III) (Figura 25).



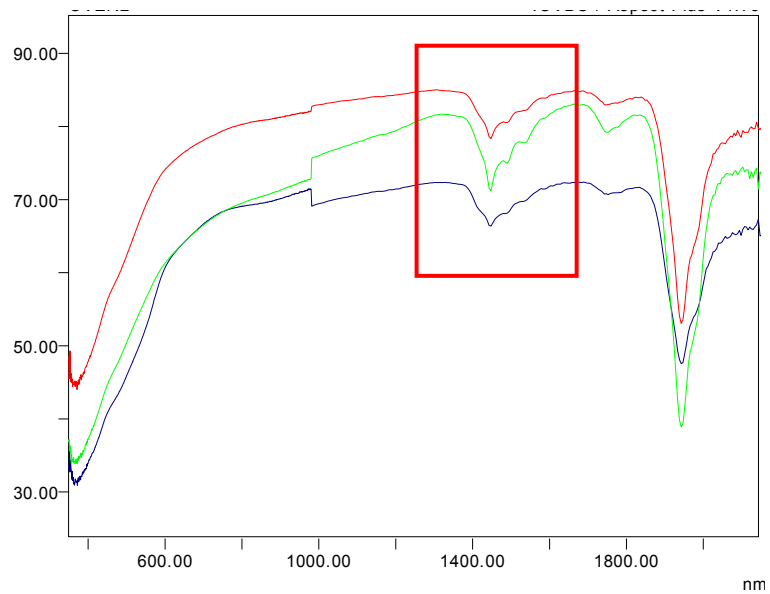
**Figura 25 – Spettri di riflettanza di quattro punti in corrispondenza di campiture di colore rosso. Sono visibili gli assorbimenti tipici dei pigmenti a base di ossidi di ferro.**

Le tinte grigie sono state realizzate con una miscela di terre a base di ossidi e idrossidi di ferro con un pigmento nero non identificabile con tale tecnica.

In numerosi spettri di riflettanza acquisiti sulle aree esaminate, nella zona intorno a 1400nm sono visibili le tre sotto-bande di assorbimento caratteristiche del gesso dovute alla prima overtones dello stretching dell'acqua di cristallizzazione (Figura 26).

Da questo dato si può ipotizzare la presenza di una diffusa solfatazione superficiale composta da micro-cristalli di gesso la cui natura e origine è però da confermare con altre tipologie di indagine.





**Figura 26 – Spettri di riflettanza di tre punti in cui sono visibili nella regione intorno a 1400 nm le tre sottobande di assorbimento caratteristiche del gesso.**

**Tabella II – Descrizione dei punti di misura, identificazione dei composti presenti e quantificazione stimata del gesso nelle aree della lunetta sopra la finestra che sono state indagate. (Tavola A6)**

<b>SIGLA PUNTO DI MISURA</b>	<b>Descrizione del punto di misura</b>	<b>Identificazione dei composti</b>	<b>Gesso<sup>i</sup></b>
CAMPORA_A1	Montagne brune sullo sfondo	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A2	Arbusto verde sullo sfondo	Terra verde, gesso	++
CAMPORA_A3	Arbusto rosso	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A4	Arco rosso alle spalle del personaggio	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A5	Occhio sx	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)+bianco, gesso	+
CAMPORA_A6	Labbro inferiore rosso	Terra rossa (ossido di Fe)+terra bruna (ossido/idrossido di Fe), gesso	+
CAMPORA_A7	Incarnato in corrispondenza del naso	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A8	Decorazione rossa della greca attorno alla finestra	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A9	Decorazione gialla del triangolo della greca attorno alla finestra	Terra gialla (idrossido di Fe), gesso	+
CAMPORA_A10	Sfondo bianco della decorazione sulla greca attorno alla finestra	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)+bianco, gesso	+++
CAMPORA_A11	Bianco della greca	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)+bianco, gesso	+++
CAMPORA_A12	Riquadro verde della greca	Terra verde, gesso	++
CAMPORA_A13	Sfondo grigio della decorazione a fiore della greca	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)+nero, gesso	+++
CAMPORA_A14	Decorazione della greca verde sulla fascia intorno alla finestra	Terra verde, gesso	+

CAMPORA_A15	Decorazione della greca verde sulla fascia intorno alla finestra	Terra verde, gesso	+
CAMPORA_A16	Sfondo grigio della decorazione a fiore della greca	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)+nero	-
CAMPORA_A17	Macchia sullo sfondo bruno	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) + nero	-
CAMPORA_A18	Fondo rosso	Terra rossa (ossido di Fe)	-
CAMPORA_A19	Cappuccio del personaggio in alto	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)	-
CAMPORA_A20	Cappuccio del personaggio sulla nuca	terra bruna(ossido/idrossido di Fe)	-
CAMPORA_A21	Manica grigia della veste	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)+nero	-
CAMPORA_A22	Veste bruna in basso	Terra rossa (ossido di Fe) terra gialla (idrossido di Fe) + bianco, gesso	++
CAMPORA_A23	Colonna dell'architettura sullo sfondo	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) + bianco, gesso	tr
CAMPORA_A24	Bianco della greca sulla dx	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) + bianco, gesso	tr
CAMPORA_A25	Rosso della greca sulla dx	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A26	Giallo della greca sulla dx	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A27	Giallo della greca sulla dx	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe)+ bianco, gesso	++
CAMPORA_A28	Giallo della greca sulla dx	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe), gesso	++

**Tabella III – Descrizione dei punti di misura, identificazione dei composti presenti e quantificazione stimata del gesso nelle aree della lunetta della parete destra che sono state indagate. (Tavola A7)**

<b>SIGLA PUNTO DI MISURA</b>	<b>Descrizione del punto di misura</b>	<b>Identificazione dei composti</b>	<b>Gesso*</b>
CAMPORA_A29	Fronde albero	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)+nero	-
CAMPORA_A30	Fronde albero	Terra verde	-
CAMPORA_A31	Frutti gialli sull'albero	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A32	Sfondo rosso in alto a dx dietro al demone	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_A33	Incarnato demone sulla dx	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)+nero	-
CAMPORA_A34	Dito del personaggio sdraiato	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)+bianco, gesso	++
CAMPORA_A35	Terra sotto il personaggio sdraiato	terra gialla (ossido/idrossido di Fe)+nero, gesso	+
CAMPORA_A36	Incarnato sulla fronde del demone sulla sx	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe), gesso	+
CAMPORA_A37	No foto	Azzurrite	?
CAMPORA_A38	No foto	Azzurrite alterata	?
CAMPORA_A39	No foto	Terra rossa (ossido di Fe)	-
CAMPORA_A40	No foto	Azzurrite alterata	-
CAMPORA_A41	No foto	Azzurrite	-
CAMPORA_A42	No foto	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)+nero	-
CAMPORA_A43	No foto	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)+nero, gesso	+
CAMPORA_A44	No foto	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe), gesso	+

**Tabella IV – Descrizione dei punti di misura, identificazione dei composti presenti e quantificazione stimata del gesso nelle aree del riquadro sulla sinistra e sull'arco di ingresso della Cappella che sono state indagate. (Tavola A5)**

<b>SIGLA PUNTO DI MISURA</b>	<b>Descrizione del punto di misura</b>	<b>Identificazione dei composti</b>	<b>Gesso*</b>
CAMPORA_B1	In corrispondenza della macchia scura	Terra rossa (ossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B2	In corrispondenza della macchia scura	Terra rossa (ossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B3	Sopra ai punti 1 e 2, dove la macchia scura non c'è	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) e terra rossa (ossido di Fe), gesso	++
CAMPORA_B4	Rosso del libro	Terra rossa (ossido di Fe), alluminosilicati, gesso	+++
CAMPORA_B5	Giallo del libro	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)/ocra gialla con un pigmento bianco, gesso	++
CAMPORA_B6	Bianco della pagina del libro	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B7	Bianco interno alla lettera scritta sul libro	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B8	Nero della lettera r	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)	
CAMPORA_B9	Manto scuro	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe)n con pigmento nero	-
CAMPORA_B10	Manto scuro in una zona più chiara	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	++
CAMPORA_B11	Intonaco	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B12	Labbro inferiore rosso chiaro	Terra rossa (ossido di Fe) + terra gialla (ossido/idrossido di Fe)	
CAMPORA_B13	Labbro superiore rosso scuro	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe), terra rossa (ossido di Fe), alluminosilicati, gesso	++
CAMPORA_B14	Incarnato della guancia	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) terra rossa (ossido di Fe) , gesso	++
CAMPORA_B15	Incarnato sulla fronte	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe), terra rossa (ossido di Fe) , gesso	++
CAMPORA_B16	Aureola	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	++
CAMPORA_B17	Nella zona bassa in corrispondenza di una prova di pulitura	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+

CAMPORA_B18	Accanto alla b17, ma su una zona bianca	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+
CAMPORA_B19	Accanto alla b17, ma su una zona bianca	Terra gialla (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+
CAMPORA_B20	Sulla cornice della chiesa. Grigio più chiaro	Come 21 e 22. Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B21	Sulla cornice della chiesa. Grigio più scuro	Come 20 e 22. Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B22	Sulla cornice della chiesa. Intonaco	Come 20 e 21. Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B23	Sfondo verde chiaro della chiesa	Terra verde, gesso	+++
CAMPORA_B24	Sfondo verde scuro della chiesa	Terra verde, gesso	+++
CAMPORA_B25	In corrispondenza dell'occhio dx. Parte del bianco ma anche dell'iride	Bianco di San Giovanni, terra gialla (idrossido di Fe) , gesso	+
CAMPORA_B26	In corrispondenza del bianco dell'occhio sx.	Bianco di San Giovanni, terra gialla (idrossido di Fe) , gesso	+
CAMPORA_B27	In corrispondenza di una prova di pulitura con carbonato d'ammonio sulla greca in basso	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe).	-
CAMPORA_B28	Accanto alla campora_b27, su una zona non pulita	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B29	Accanto alla campora_b27, su una zona non pulita scura	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B30	Decorazione bruna, area pulita	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe).	-
CAMPORA_B31	Decorazione bruna, area non pulita	Terra bruna (ossido/idrossido di Fe) , gesso	+++
CAMPORA_B32	In corrispondenza della buca pontaia. Su un'area gialla	Terra gialla (idrossido di Fe) , gesso	++
CAMPORA_B33	In corrispondenza della buca pontaia. Su una lacuna intergrata gialla	Terra gialla (idrossido di Fe) , gesso	++
CAMPORA_B34	Sulla zona grigia riempimento della lacuna (a cemento?)	Terra bruna, gesso	+++
CAMPORA_B35	Rosso scuro del libro	Morellone [ (ossido di Fe)+ Mn] , gesso	+
CAMPORA_B36	Rosso chiaro del libro	Morellone [ (ossido di Fe)+ Mn] , gesso	+
CAMPORA_B37	Al centro del libro	Morellone [ (ossido di Fe)+ Mn]	+
CAMPORA_B38	Verde della decorazione del manto	Azzurrite alterata e terra gialla (idrossido di Fe)	tr

CAMPORA_B39	Verde del manto	Terra verde	+
CAMPORA_B40	Rosso scuro del manto sulla spalla	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	+
CAMPORA_B41	Rosso chiaro del manto sulla spalla all'altezza della mano benedicente	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	+
CAMPORA_B42	Decorazione del manto rosso	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	+
CAMPORA_B43	Decorazione del manto rosso	Terra rossa (ossido di Fe), gesso	+
CAMPORA_B44	Decorazione con lamina dell'aureola	/	+
CAMPORA_B45	Decorazione con lamina della veste all'altezza della mano che tiene il libro	/	tr

---

<sup>i</sup> Nella colonna di sinistra, quella riferita alla quantità di gesso stimata, si ha: +++ = molto abbondante, ++ = abbondante, + = poco abbondante, - = non presente, tr = tracce

**I dipinti murali della Cappella di S. Antonio Abate: campagna diagnostica**

**Parete 1: posizionamento punti di misura FORS**

Numero Tavola

**A5**

**Dettagli punti di misura**

F\_b22, F\_b21  
 F\_b23, F\_b20  
 F\_b24, F\_b20

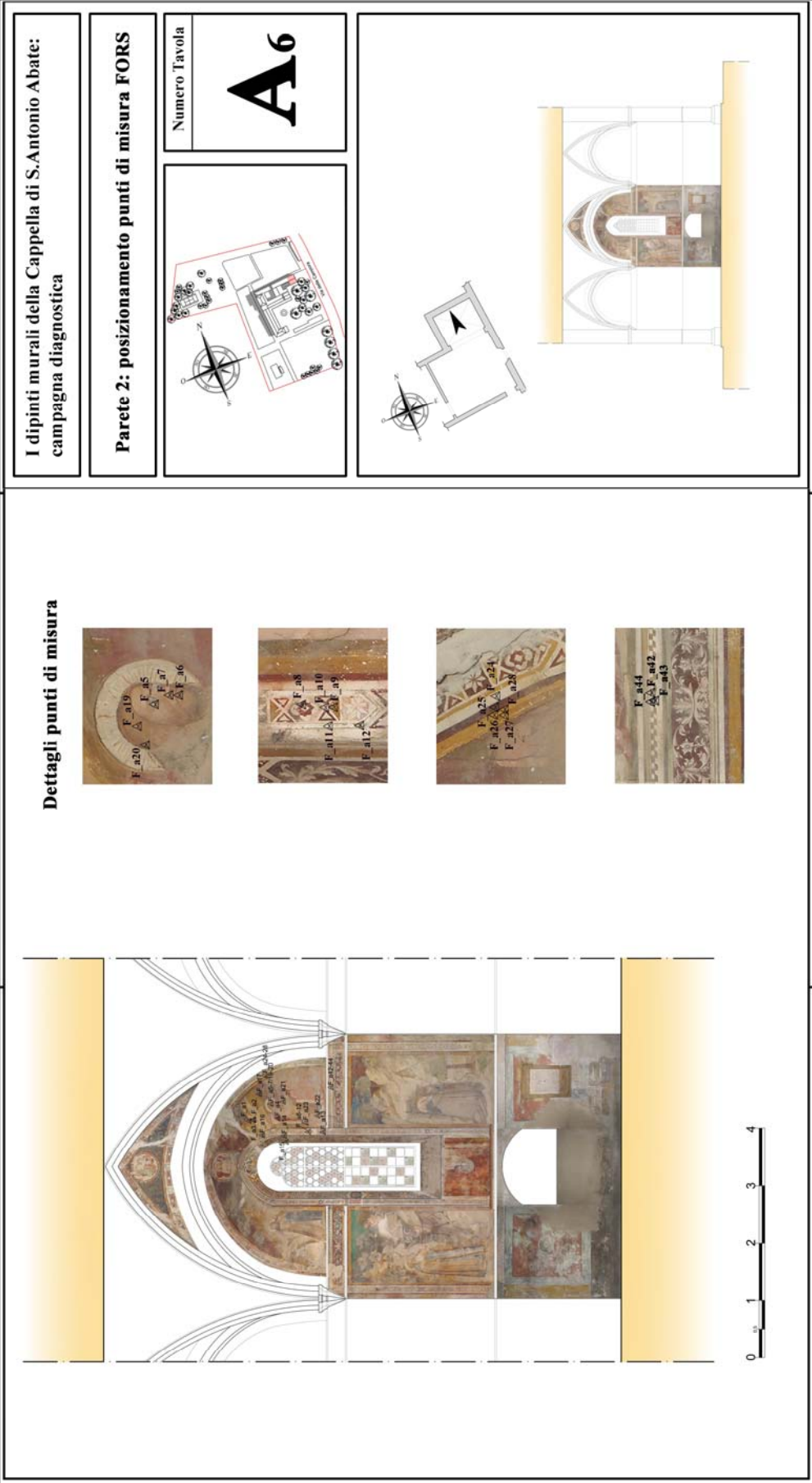
F\_b29  
 F\_b28, F\_b27  
 F\_b31, F\_b30

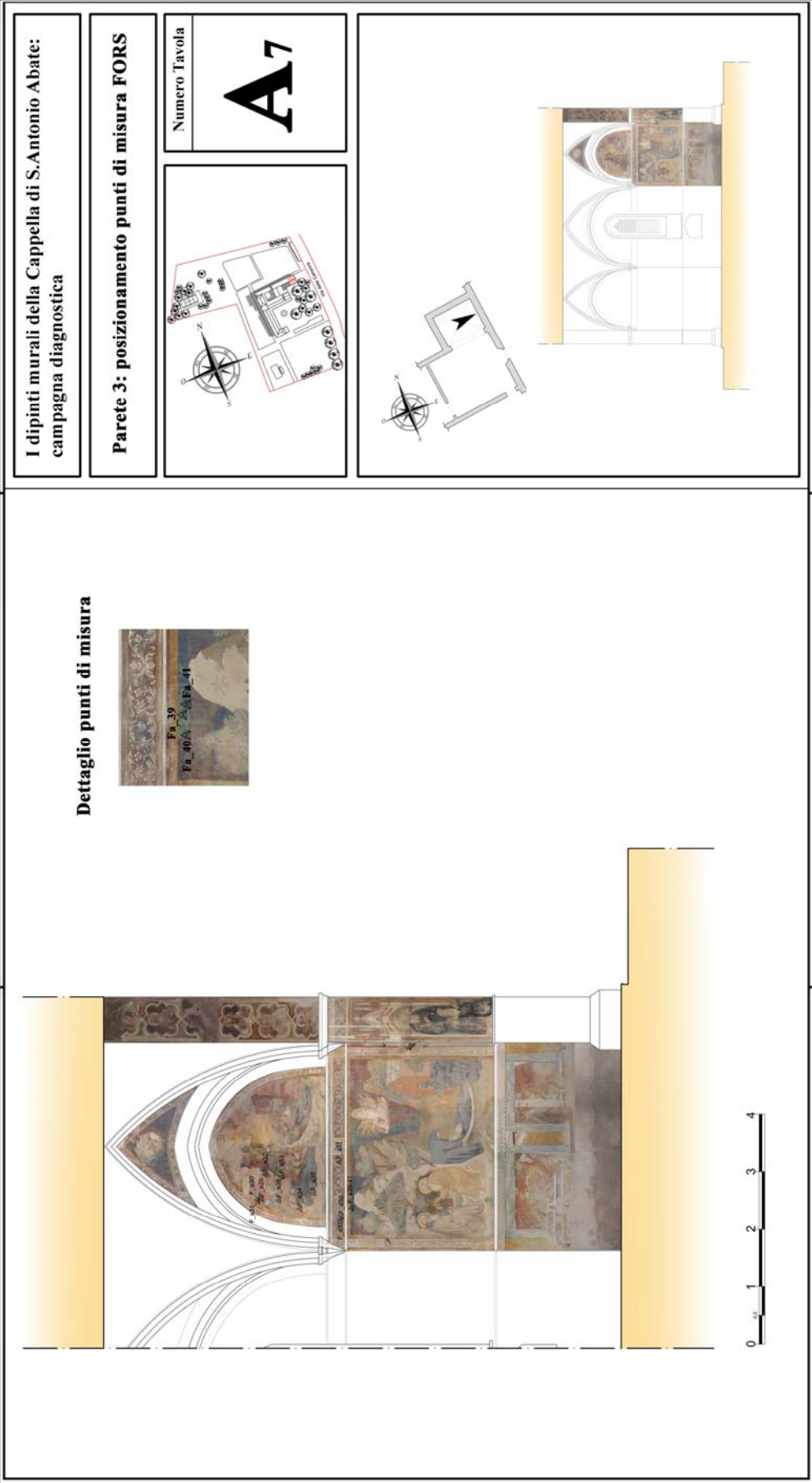
F\_b8  
 F\_b7  
 F\_b6, F\_b5  
 F\_b4

F\_b16  
 F\_b15  
 F\_b14  
 F\_b12, F\_b13

F\_b10, F\_b11  
 F\_b12, F\_b13  
 F\_b14, F\_b15  
 F\_b16, F\_b17  
 F\_b18, F\_b19  
 F\_b20, F\_b21  
 F\_b22, F\_b23  
 F\_b24, F\_b25  
 F\_b26, F\_b27  
 F\_b28, F\_b29  
 F\_b30, F\_b31  
 F\_b32, F\_b33  
 F\_b34, F\_b35  
 F\_b36, F\_b37  
 F\_b38, F\_b39  
 F\_b40, F\_b41  
 F\_b42, F\_b43  
 F\_b44, F\_b45  
 F\_b46, F\_b47  
 F\_b48, F\_b49  
 F\_b50, F\_b51  
 F\_b52, F\_b53  
 F\_b54, F\_b55  
 F\_b56, F\_b57  
 F\_b58, F\_b59  
 F\_b60, F\_b61  
 F\_b62, F\_b63  
 F\_b64, F\_b65  
 F\_b66, F\_b67  
 F\_b68, F\_b69  
 F\_b70, F\_b71  
 F\_b72, F\_b73  
 F\_b74, F\_b75  
 F\_b76, F\_b77  
 F\_b78, F\_b79  
 F\_b80, F\_b81  
 F\_b82, F\_b83  
 F\_b84, F\_b85  
 F\_b86, F\_b87  
 F\_b88, F\_b89  
 F\_b90, F\_b91  
 F\_b92, F\_b93  
 F\_b94, F\_b95  
 F\_b96, F\_b97  
 F\_b98, F\_b99  
 F\_b100, F\_b101  
 F\_b102, F\_b103  
 F\_b104, F\_b105  
 F\_b106, F\_b107  
 F\_b108, F\_b109  
 F\_b110, F\_b111  
 F\_b112, F\_b113  
 F\_b114, F\_b115  
 F\_b116, F\_b117  
 F\_b118, F\_b119  
 F\_b120, F\_b121  
 F\_b122, F\_b123  
 F\_b124, F\_b125  
 F\_b126, F\_b127  
 F\_b128, F\_b129  
 F\_b130, F\_b131  
 F\_b132, F\_b133  
 F\_b134, F\_b135  
 F\_b136, F\_b137  
 F\_b138, F\_b139  
 F\_b140, F\_b141  
 F\_b142, F\_b143  
 F\_b144, F\_b145  
 F\_b146, F\_b147  
 F\_b148, F\_b149  
 F\_b150, F\_b151  
 F\_b152, F\_b153  
 F\_b154, F\_b155  
 F\_b156, F\_b157  
 F\_b158, F\_b159  
 F\_b160, F\_b161  
 F\_b162, F\_b163  
 F\_b164, F\_b165  
 F\_b166, F\_b167  
 F\_b168, F\_b169  
 F\_b170, F\_b171  
 F\_b172, F\_b173  
 F\_b174, F\_b175  
 F\_b176, F\_b177  
 F\_b178, F\_b179  
 F\_b180, F\_b181  
 F\_b182, F\_b183  
 F\_b184, F\_b185  
 F\_b186, F\_b187  
 F\_b188, F\_b189  
 F\_b190, F\_b191  
 F\_b192, F\_b193  
 F\_b194, F\_b195  
 F\_b196, F\_b197  
 F\_b198, F\_b199  
 F\_b200, F\_b201  
 F\_b202, F\_b203  
 F\_b204, F\_b205  
 F\_b206, F\_b207  
 F\_b208, F\_b209  
 F\_b210, F\_b211  
 F\_b212, F\_b213  
 F\_b214, F\_b215  
 F\_b216, F\_b217  
 F\_b218, F\_b219  
 F\_b220, F\_b221  
 F\_b222, F\_b223  
 F\_b224, F\_b225  
 F\_b226, F\_b227  
 F\_b228, F\_b229  
 F\_b230, F\_b231  
 F\_b232, F\_b233  
 F\_b234, F\_b235  
 F\_b236, F\_b237  
 F\_b238, F\_b239  
 F\_b240, F\_b241  
 F\_b242, F\_b243  
 F\_b244, F\_b245  
 F\_b246, F\_b247  
 F\_b248, F\_b249  
 F\_b250, F\_b251  
 F\_b252, F\_b253  
 F\_b254, F\_b255  
 F\_b256, F\_b257  
 F\_b258, F\_b259  
 F\_b260, F\_b261  
 F\_b262, F\_b263  
 F\_b264, F\_b265  
 F\_b266, F\_b267  
 F\_b268, F\_b269  
 F\_b270, F\_b271  
 F\_b272, F\_b273  
 F\_b274, F\_b275  
 F\_b276, F\_b277  
 F\_b278, F\_b279  
 F\_b280, F\_b281  
 F\_b282, F\_b283  
 F\_b284, F\_b285  
 F\_b286, F\_b287  
 F\_b288, F\_b289  
 F\_b290, F\_b291  
 F\_b292, F\_b293  
 F\_b294, F\_b295  
 F\_b296, F\_b297  
 F\_b298, F\_b299  
 F\_b300, F\_b301  
 F\_b302, F\_b303  
 F\_b304, F\_b305  
 F\_b306, F\_b307  
 F\_b308, F\_b309  
 F\_b310, F\_b311  
 F\_b312, F\_b313  
 F\_b314, F\_b315  
 F\_b316, F\_b317  
 F\_b318, F\_b319  
 F\_b320, F\_b321  
 F\_b322, F\_b323  
 F\_b324, F\_b325  
 F\_b326, F\_b327  
 F\_b328, F\_b329  
 F\_b330, F\_b331  
 F\_b332, F\_b333  
 F\_b334, F\_b335  
 F\_b336, F\_b337  
 F\_b338, F\_b339  
 F\_b340, F\_b341  
 F\_b342, F\_b343  
 F\_b344, F\_b345  
 F\_b346, F\_b347  
 F\_b348, F\_b349  
 F\_b350, F\_b351  
 F\_b352, F\_b353  
 F\_b354, F\_b355  
 F\_b356, F\_b357  
 F\_b358, F\_b359  
 F\_b360, F\_b361  
 F\_b362, F\_b363  
 F\_b364, F\_b365  
 F\_b366, F\_b367  
 F\_b368, F\_b369  
 F\_b370, F\_b371  
 F\_b372, F\_b373  
 F\_b374, F\_b375  
 F\_b376, F\_b377  
 F\_b378, F\_b379  
 F\_b380, F\_b381  
 F\_b382, F\_b383  
 F\_b384, F\_b385  
 F\_b386, F\_b387  
 F\_b388, F\_b389  
 F\_b390, F\_b391  
 F\_b392, F\_b393  
 F\_b394, F\_b395  
 F\_b396, F\_b397  
 F\_b398, F\_b399  
 F\_b400, F\_b401  
 F\_b402, F\_b403  
 F\_b404, F\_b405  
 F\_b406, F\_b407  
 F\_b408, F\_b409  
 F\_b410, F\_b411  
 F\_b412, F\_b413  
 F\_b414, F\_b415  
 F\_b416, F\_b417  
 F\_b418, F\_b419  
 F\_b420, F\_b421  
 F\_b422, F\_b423  
 F\_b424, F\_b425  
 F\_b426, F\_b427  
 F\_b428, F\_b429  
 F\_b430, F\_b431  
 F\_b432, F\_b433  
 F\_b434, F\_b435  
 F\_b436, F\_b437  
 F\_b438, F\_b439  
 F\_b440, F\_b441  
 F\_b442, F\_b443  
 F\_b444, F\_b445  
 F\_b446, F\_b447  
 F\_b448, F\_b449  
 F\_b450, F\_b451  
 F\_b452, F\_b453  
 F\_b454, F\_b455  
 F\_b456, F\_b457  
 F\_b458, F\_b459  
 F\_b460, F\_b461  
 F\_b462, F\_b463  
 F\_b464, F\_b465  
 F\_b466, F\_b467  
 F\_b468, F\_b469  
 F\_b470, F\_b471  
 F\_b472, F\_b473  
 F\_b474, F\_b475  
 F\_b476, F\_b477  
 F\_b478, F\_b479  
 F\_b480, F\_b481  
 F\_b482, F\_b483  
 F\_b484, F\_b485  
 F\_b486, F\_b487  
 F\_b488, F\_b489  
 F\_b490, F\_b491  
 F\_b492, F\_b493  
 F\_b494, F\_b495  
 F\_b496, F\_b497  
 F\_b498, F\_b499  
 F\_b500, F\_b501  
 F\_b502, F\_b503  
 F\_b504, F\_b505  
 F\_b506, F\_b507  
 F\_b508, F\_b509  
 F\_b510, F\_b511  
 F\_b512, F\_b513  
 F\_b514, F\_b515  
 F\_b516, F\_b517  
 F








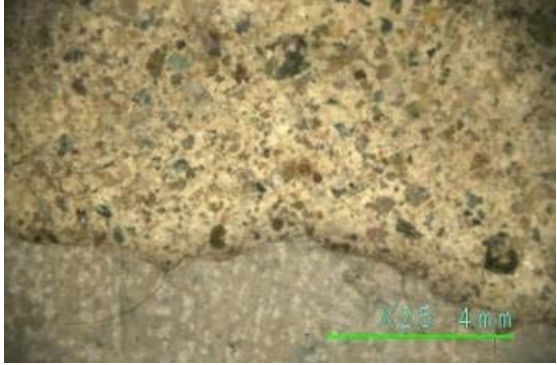



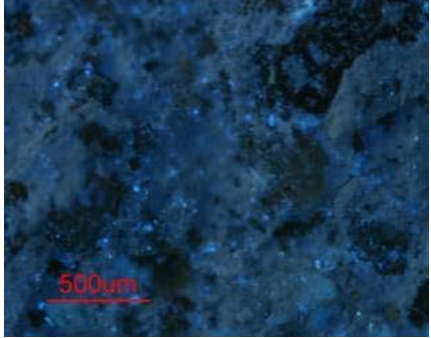
## CAMPIONAMENTO

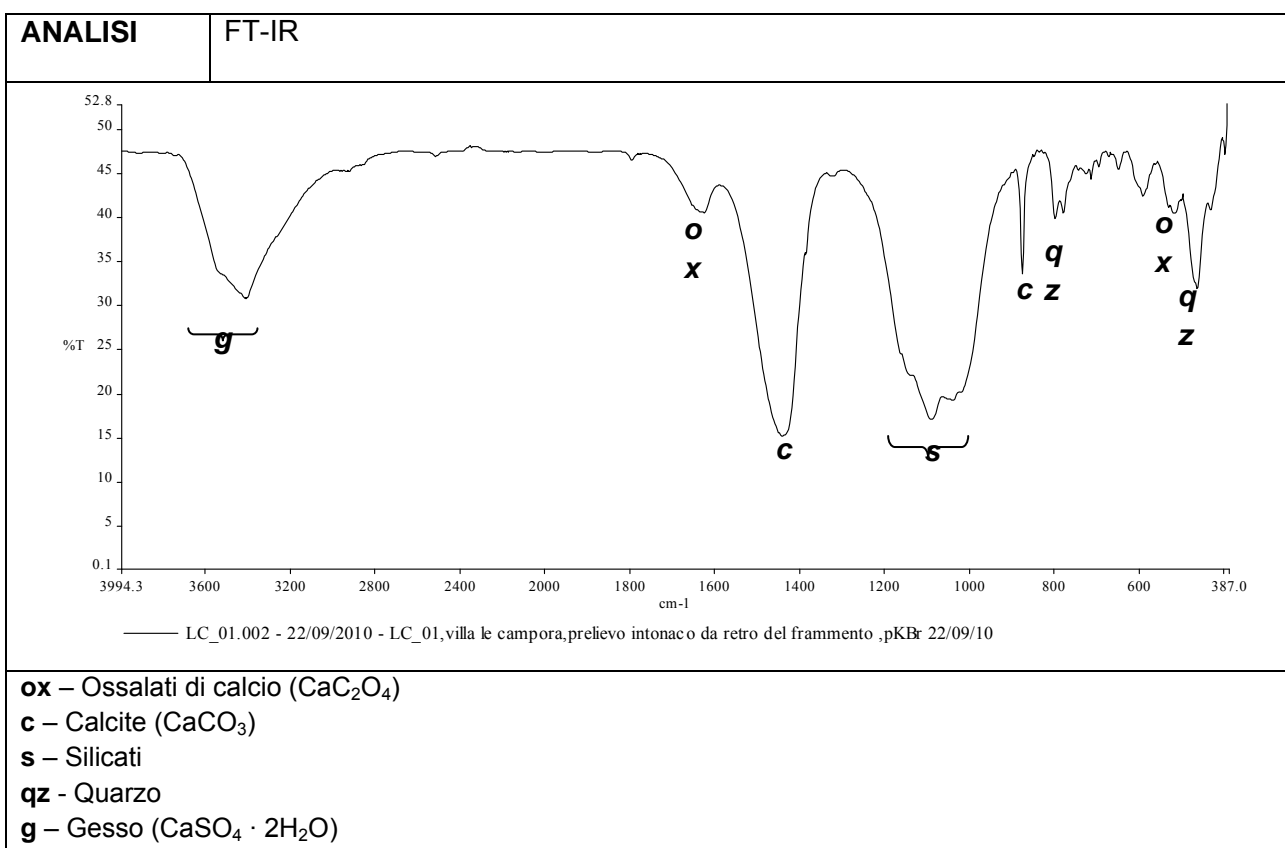
Sono stati prelevati in totale 20 microframmenti, in modo da aver informazioni che potessero definirsi rappresentative delle problematiche in esame, presenti sull'affresco. Nella Tabella V sono riportate le sigle dei campioni e le indagini diagnostiche che sono state effettuate. A seguire sono riportate le schede dei campioni con la descrizione del punto di misura, le immagini relative all'area di campionamento e al frammento stesso e, nel caso in cui sia stata preparata, la relativa immagine della sezione lucida.


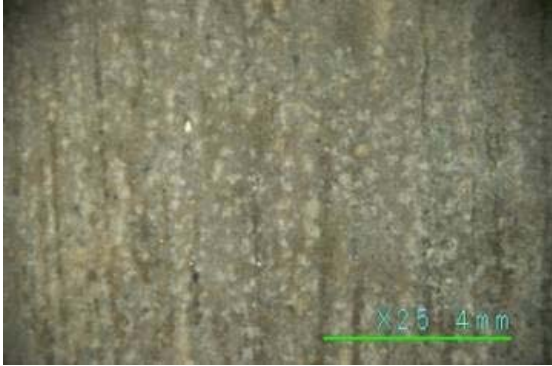

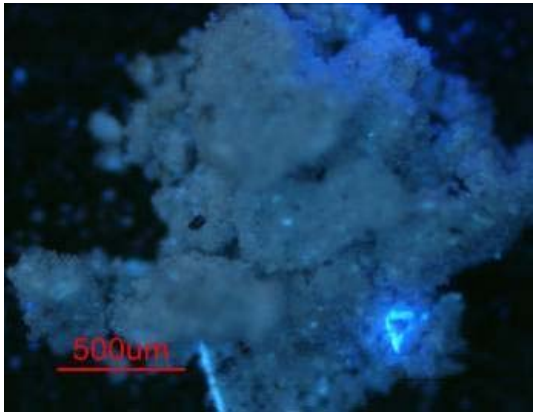
**Tabella V – Tabella riassuntiva dei micro-fragmenti e delle tecniche di indagine applicate.**

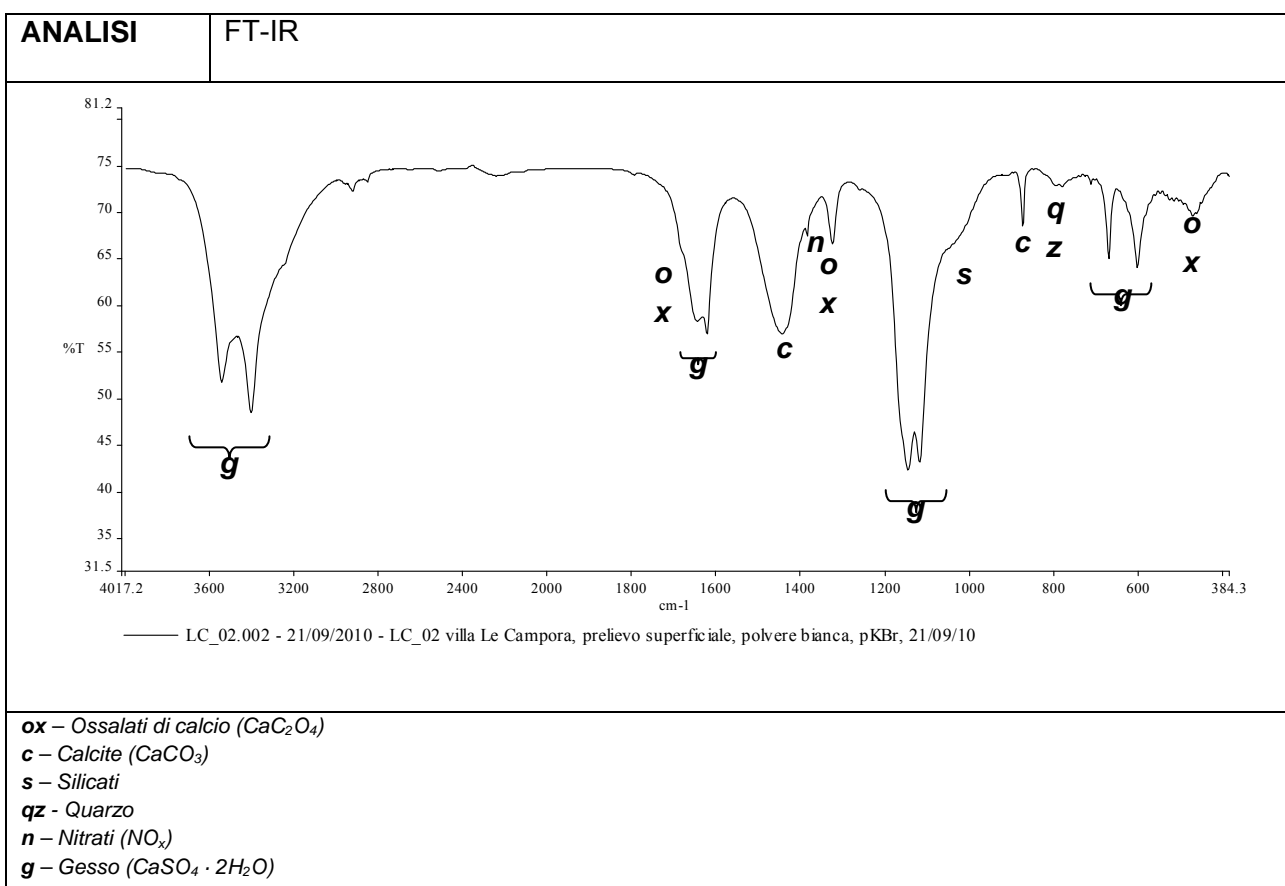
NOME CAMPIONE	FT-IR	XRD	SEZIONE	CI
P_01	X	-	-	-
P_02	X	-	-	-
P_03	X	-	-	X
P_04	X	X	-	X
P_05	X	-	X	-
P_06	X	-	-	-
P_07	X	-	-	-
P_08	X	-	X	-
P_09	X	-	-	-
P_10	X	-	-	-
P_11	X	X	-	-
P_12	X	X	-	X
P_12A	X	X	-	-
P_13	X	X	-	X
P_14	X	-	X	-
P_15	X	-	-	-
P_16	X	-	-	X
P_17	X	-	-	-
P_18	X	-	-	-
P_19	X	-	-	-
P_20	X	-	-	-

## SCHEDE DEI CAMPIONI


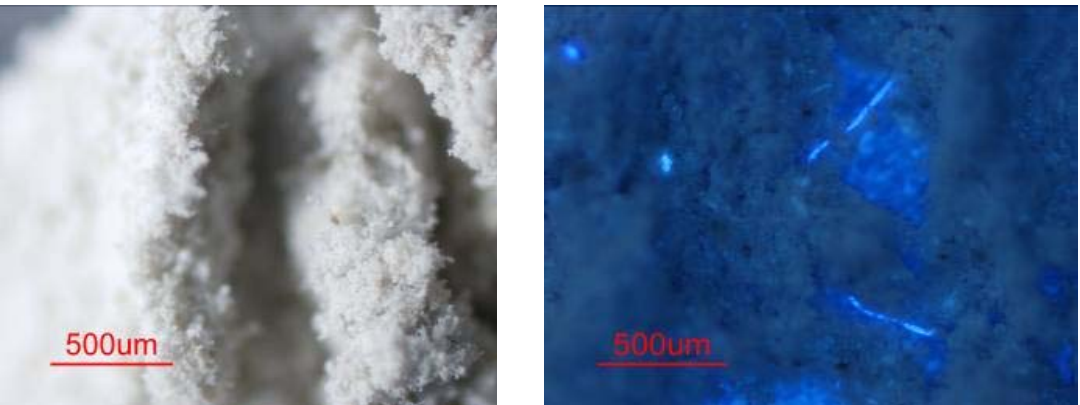
P_01	Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8
Prelievo di intonaco staccato con strato pittorico in corrispondenza dello spigolo della parete verde della chiesa. Frammento prelevato in corrispondenza di una lacuna estesa		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE		
	<p>Campione di circa 1 cm per 0,5 cm.</p> <p>Fronte: Colore bruno chiaro con zone bianche in corrispondenza delle irregolarità superficiali. In alcuni punti sono presenti zone più verdi.</p> <p>Retro: granuli di colori, forme e dimensioni diversi immersi in una matrice di colore giallo sporco.</p> <p>MO: Campione troppo grande per ottenere un'immagine intera. Non fluorescente. Sul retro presenza di cristalli verdi, bruni e trasparenti.</p>	
FOTO DEL CAMPIONE		
	fronte	fronte
		
	retro	retro



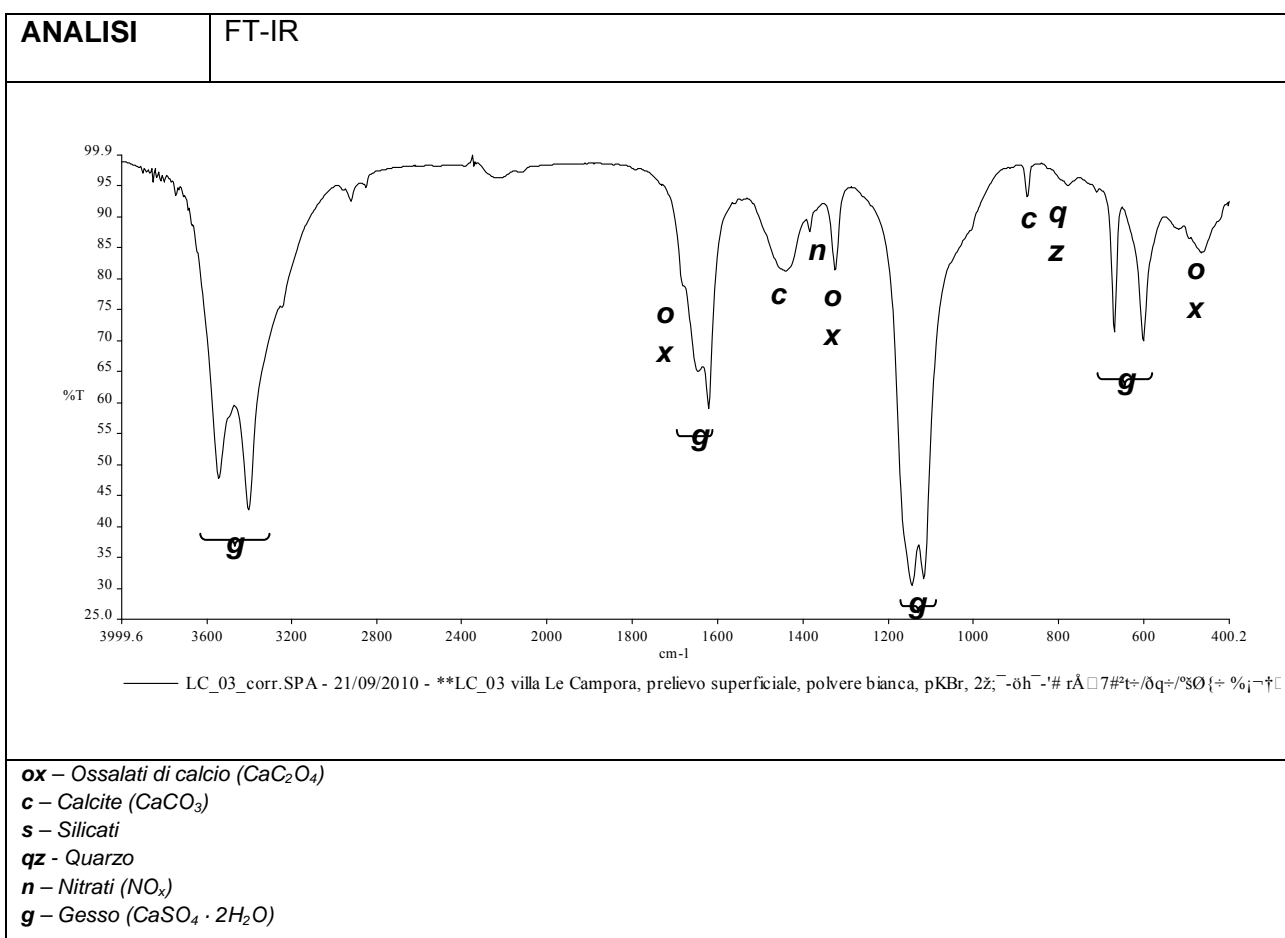
P_02	Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8
<p>Prelievo superficiale a bisturi in corrispondenza di una macchia chiara della veste del personaggio in basso a destra. Prelievo su una zona in cui è stato precedentemente applicato un impacco.</p>		
<p>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE</p>		
	<p>Campione in polvere. Polvere bianca a granulometria fine. Presenza di qualche grano bruno e giallo.</p>	
<p>FOTO DEL CAMPIONE</p>		





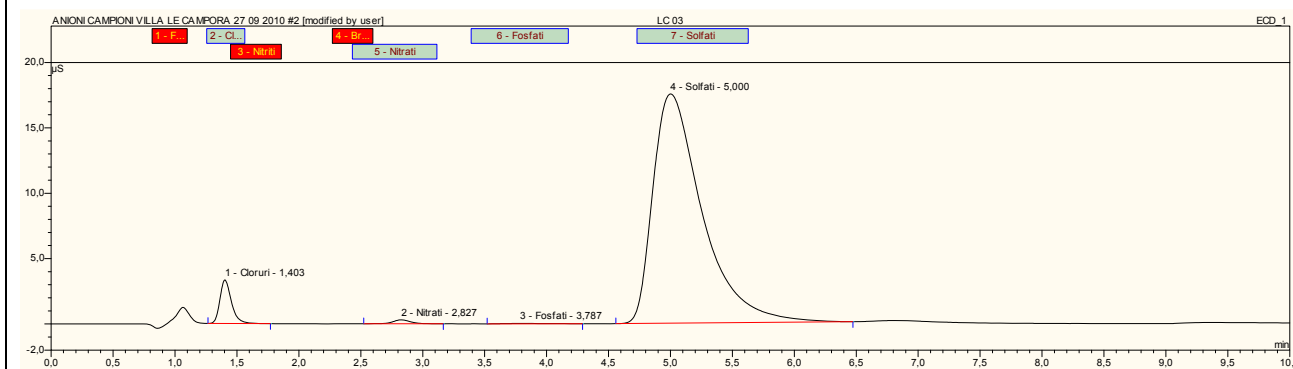
P_03	Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8
Prelievo superficiale a bisturi vicino al prelievo P_02.		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE		
	<p>Campione in polvere.</p> <p>Polvere bianca omogenea a granulometria fine, non fluorescente.</p> <p>Presenza di alcuni granuli gialli e scuri.</p>	
FOTO DEL CAMPIONE		



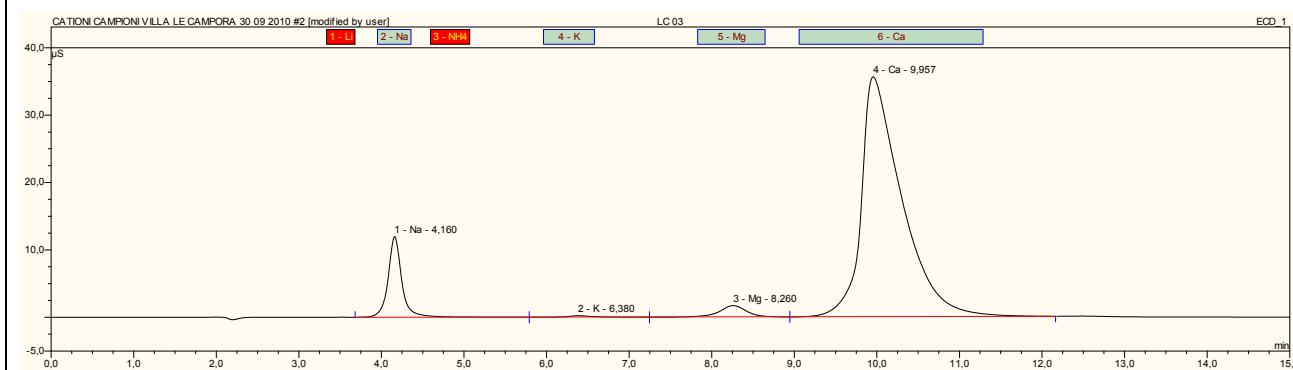


ANALISI	CI
---------	----

# ANIONI





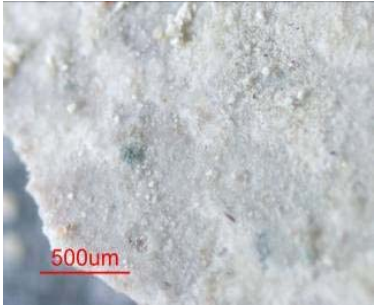
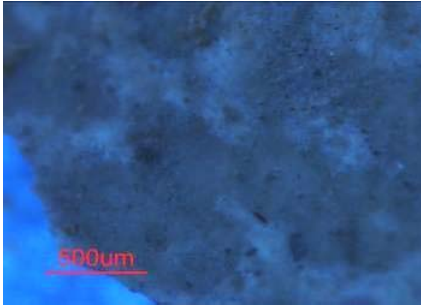

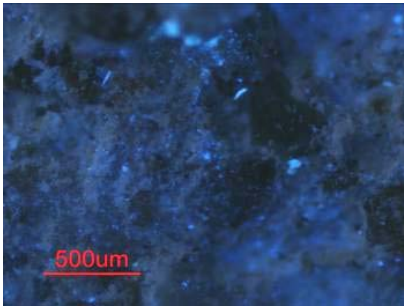

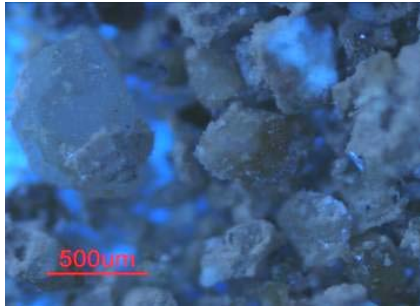
# CATIONI

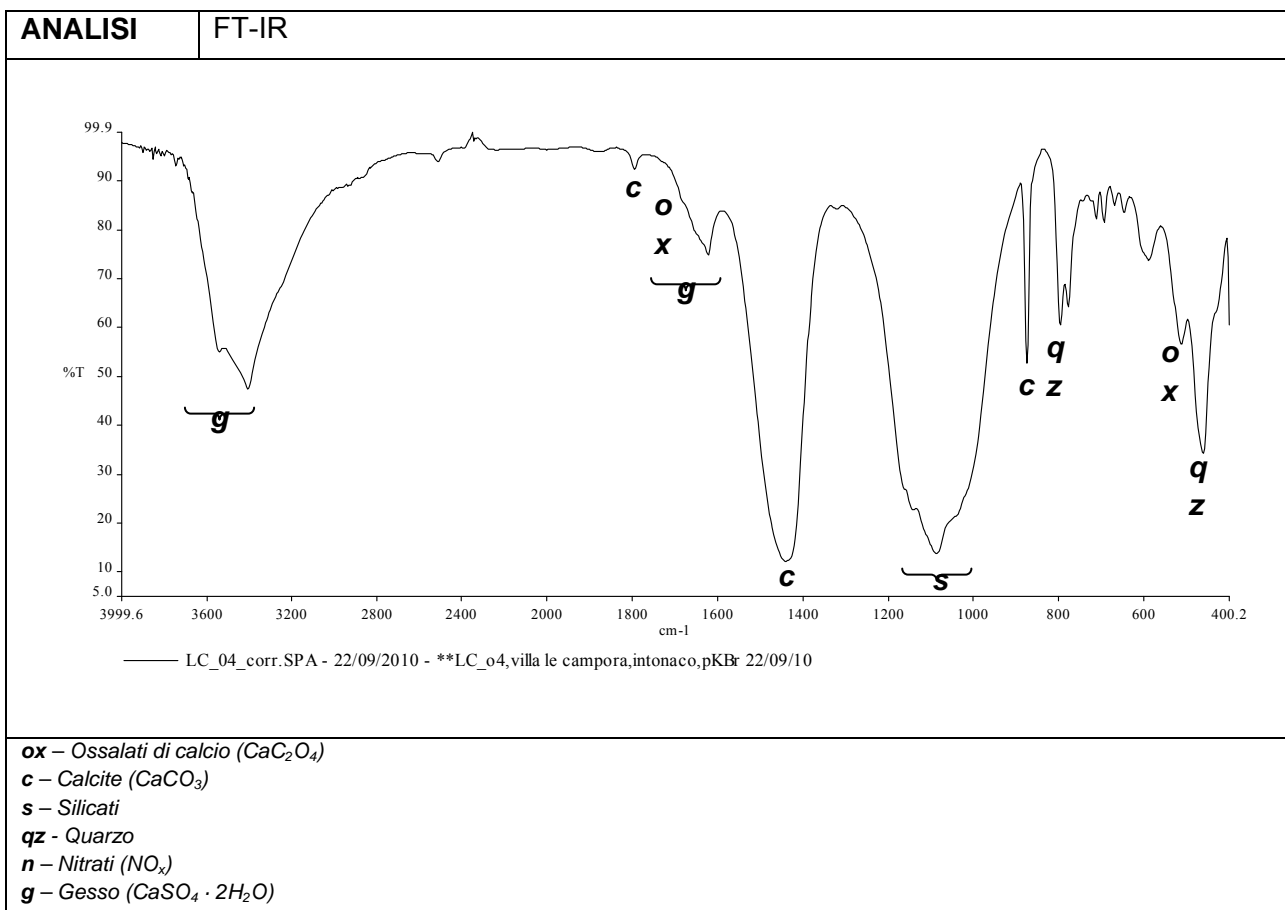


## mmoli/100 g polvere

	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^+$	$\text{Ca}^{2+}$
LC 03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

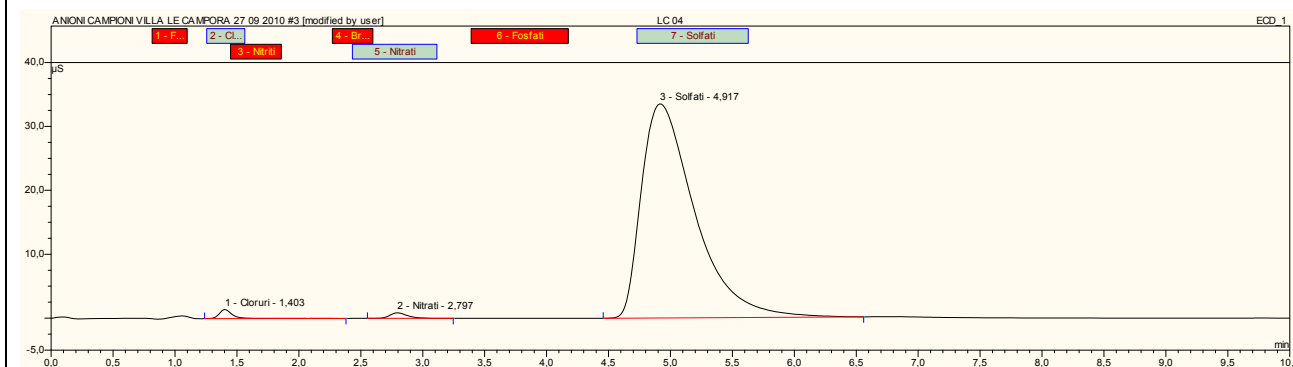
**NOTA:** nel caso del campione LC 03 non è stata possibile un'analisi quantitativa relativa alla quantità di polvere pesata, perché al di sotto della sensibilità della bilancia. Data l'intensità dei segnali e la quantità esigua di polvere analizzata, i risultati sottolineano l'abbondanza degli ioni presenti nel campione, in particolare **solfati** e **calcio**.

P_04	Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8
<p>Prelievo dell'intonaco in corrispondenza di una lacuna presente sotto la grondaia della parete verde della chiesa.</p>		
<p>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE</p>		
	<p>Abbondante polvere costituita da intonaco. I due frammenti più grandi presentano anche lo strato pittorico di colore verde chiaro. Granulometria grossolana, grani bruni, gialli, trasparenti. Non fluorescente. Il frammento bianco è compatto, con grani bruni e verdi.</p>	
<p>FOTO DEL CAMPIONE</p>		
	<p>fronte</p> 	<p>fronte</p> 
	<p>retro</p> 	<p>retro</p> 
	<p>polvere</p>	<p>polvere</p>

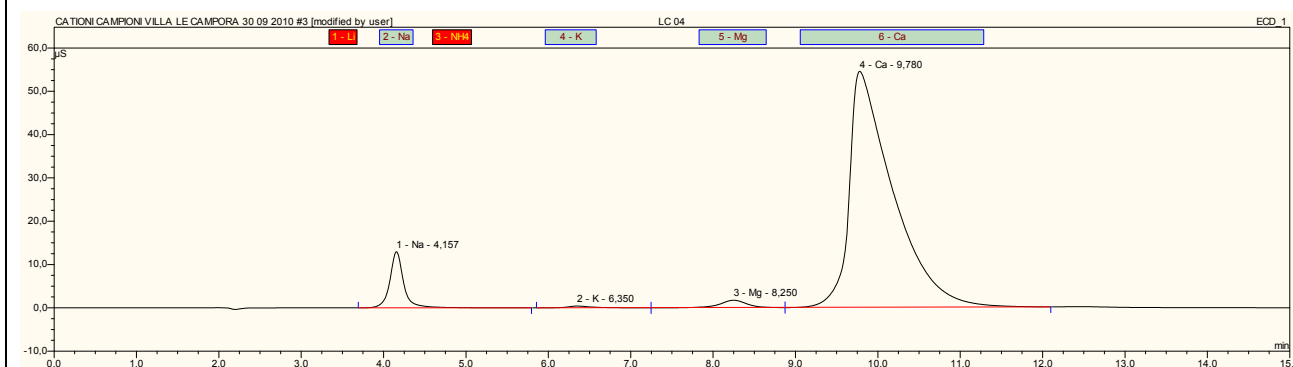


<b>ANALISI</b>	<b>CI</b>
----------------	-----------

# ANIONI


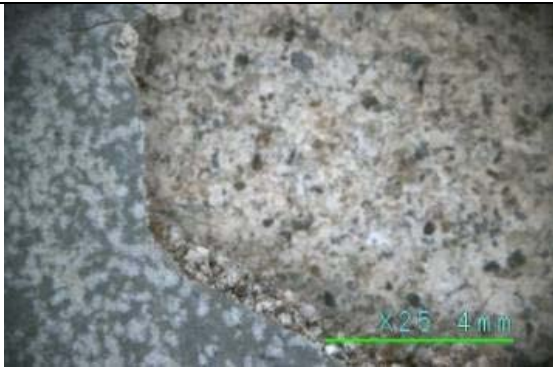
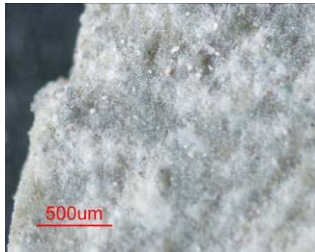
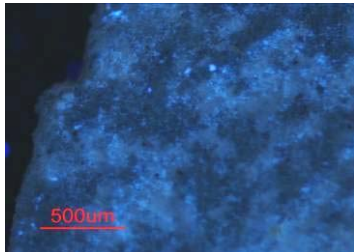

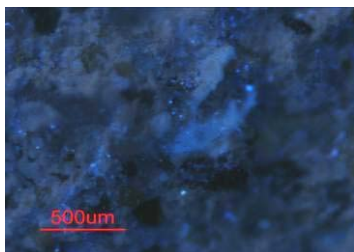
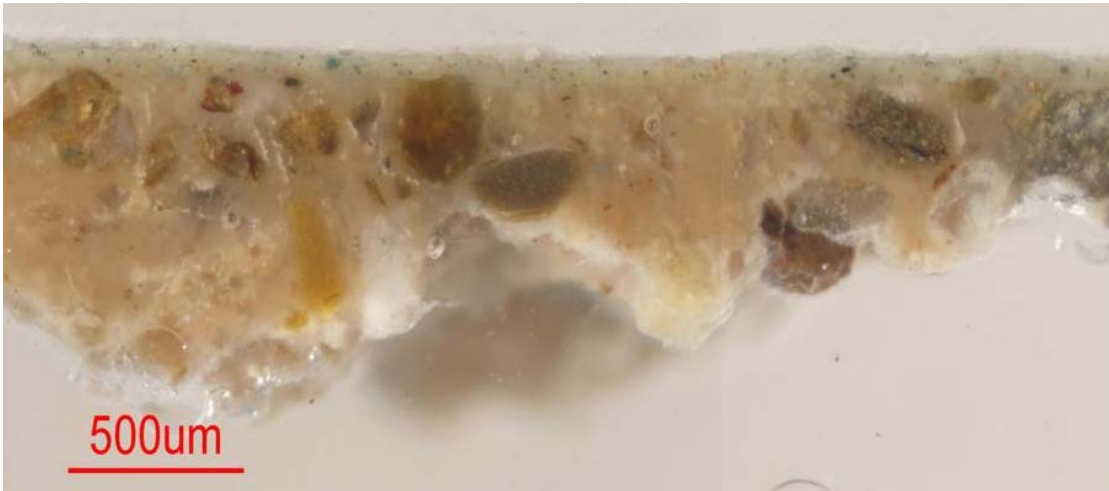


# CATIONI

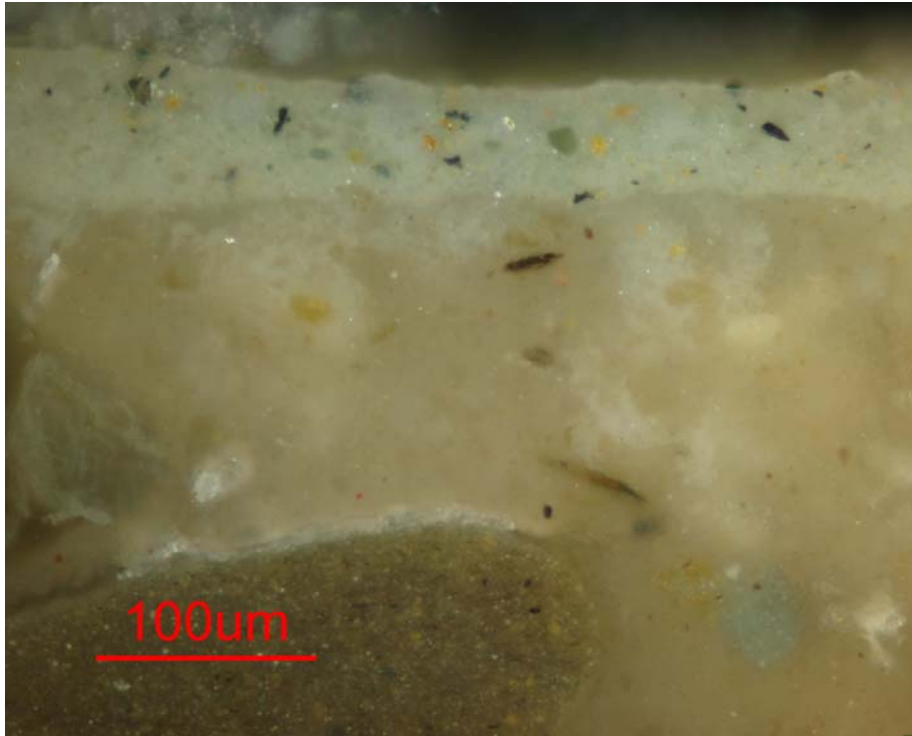
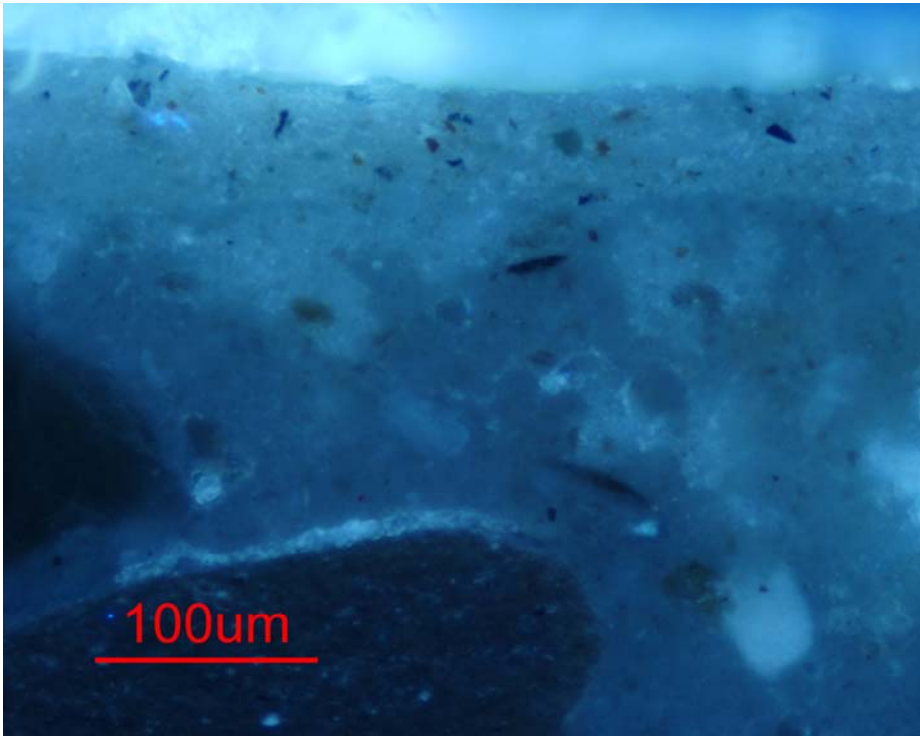


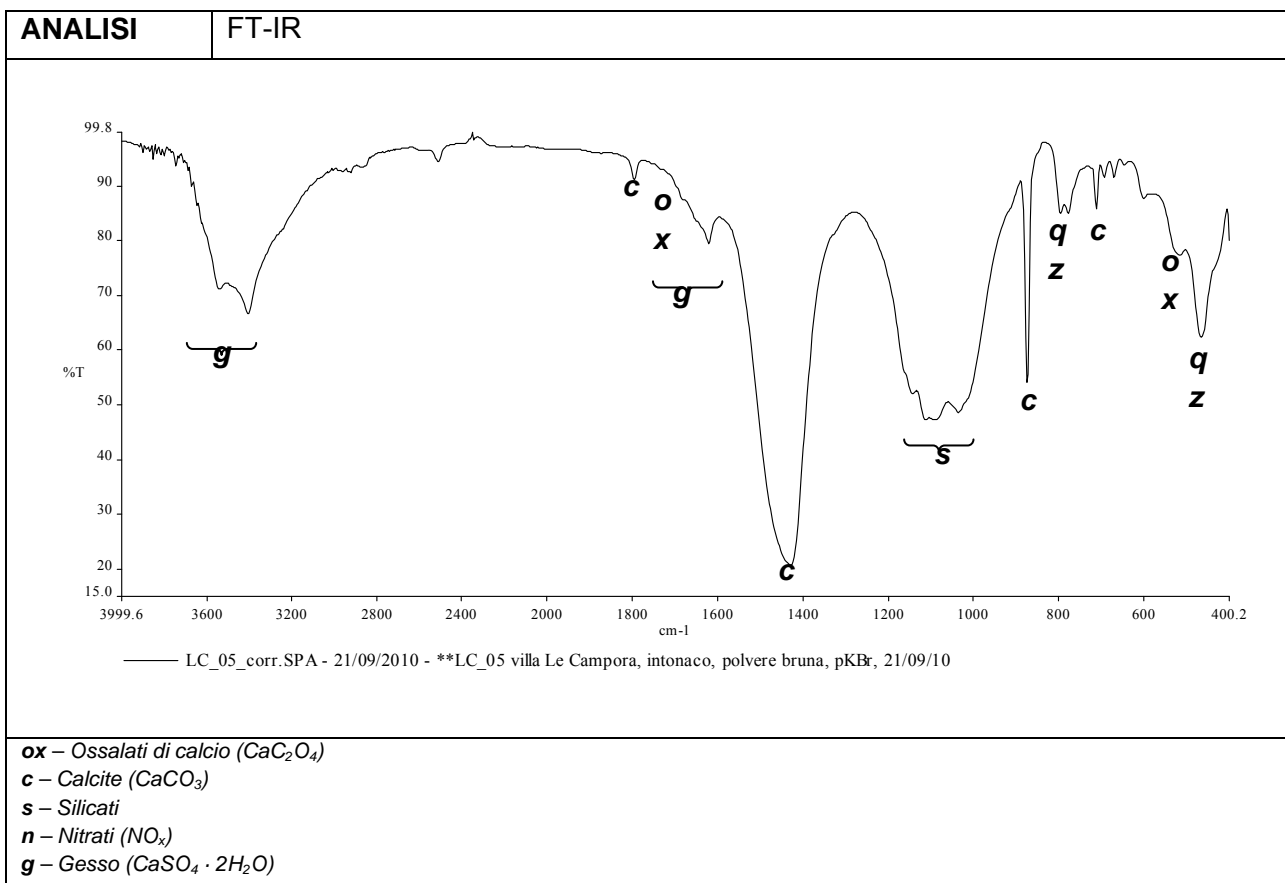
mmoli/100 g polvere

	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^+$	$\text{Ca}^{2+}$
<b>LC 04</b>	0,0014	0,0011	-	0,0610	0,0073	0,0004	0,0010	0,0479


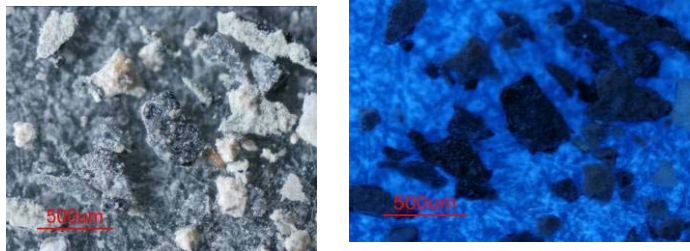
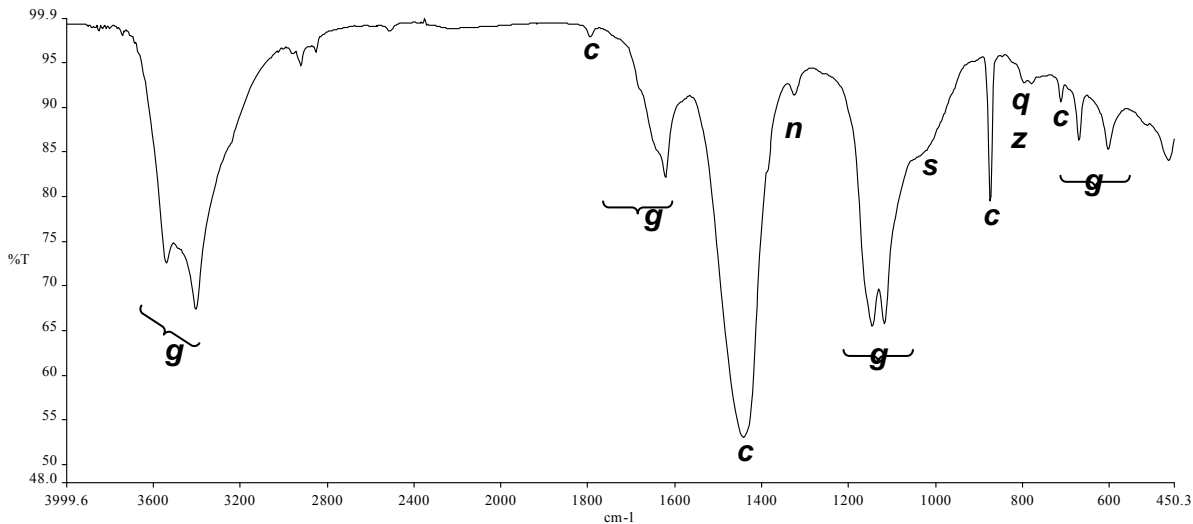
P_05	Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8
Frammento di intonaco e strato pittorico proveniente dall'area in corrispondenza della parete verde della chiesa vicino alla finestra.		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE	<div></div> <div></div>	
FOTO DEL CAMPIONE	<div><div><p>fronte</p></div><div><p>fronte</p></div><div><p>retro</p></div><div><p>retro</p></div></div> <div>Sei frammenti più grandi di diverse forme e dimensioni con strato pittorico ed intonaco sul retro. Residuo di polvere di intonaco e due frammenti di intonaco più grandi costituiti da malta di colore giallo chiaro e grani di diversi colori e forme.</div>	
SEZIONE LUCIDA		


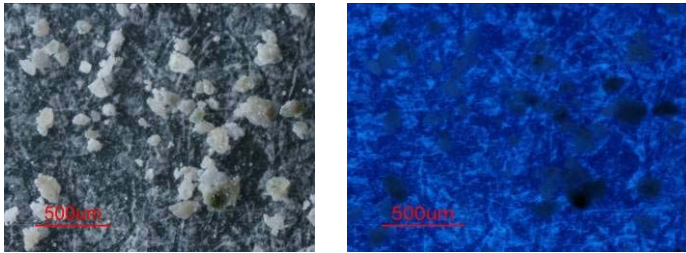
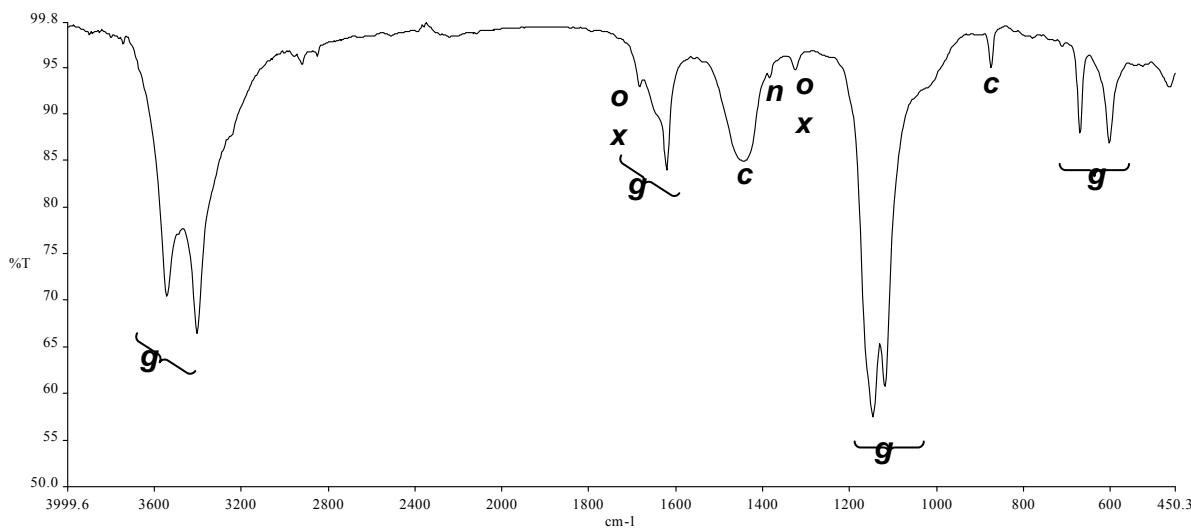




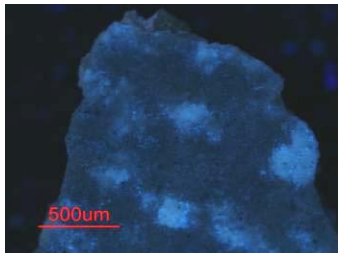

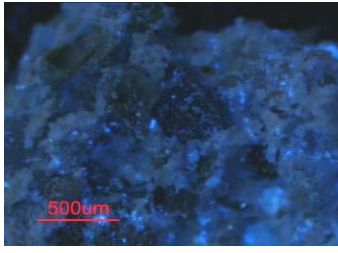
SEZIONE LUCIDA	
SEZIONE LUCIDA	
<p>a. Strato di intonaco costituito da una matrice gialla in cui sono presenti grani di colore e forma diversi</p> <p>b. Strato bianco in cui sono immersi dei granuli di colore verde, nero e giallo</p>	





P_06		Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8	
Patina bianca prelevata a bisturi in corrispondenza della finestra nera della chiesa.				
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE				
FOTO DEL CAMPIONE		<div></div> <div><p>Polvere di colore grigio, quantità scarsa.</p><p>Grani di grandi dimensioni e colori diversi</p></div>		
ANALISI		FT-IR		
 <p>LC_06b_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_06b villa Le Campora, patina bianca, pKBr, 21/09/10</p>				
<p><b>qz</b> – Quarzo</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>n</b> – Nitrati (<math>\text{NO}_x</math>)</p> <p><b>g</b> – Gesso (<math>\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>)</p>				

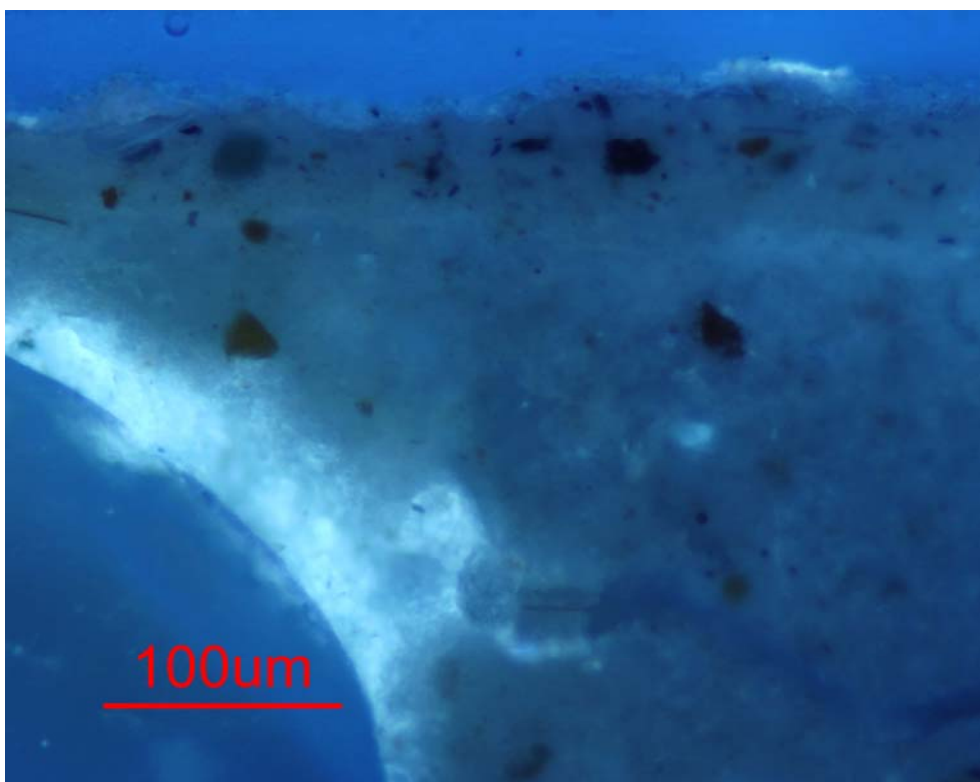
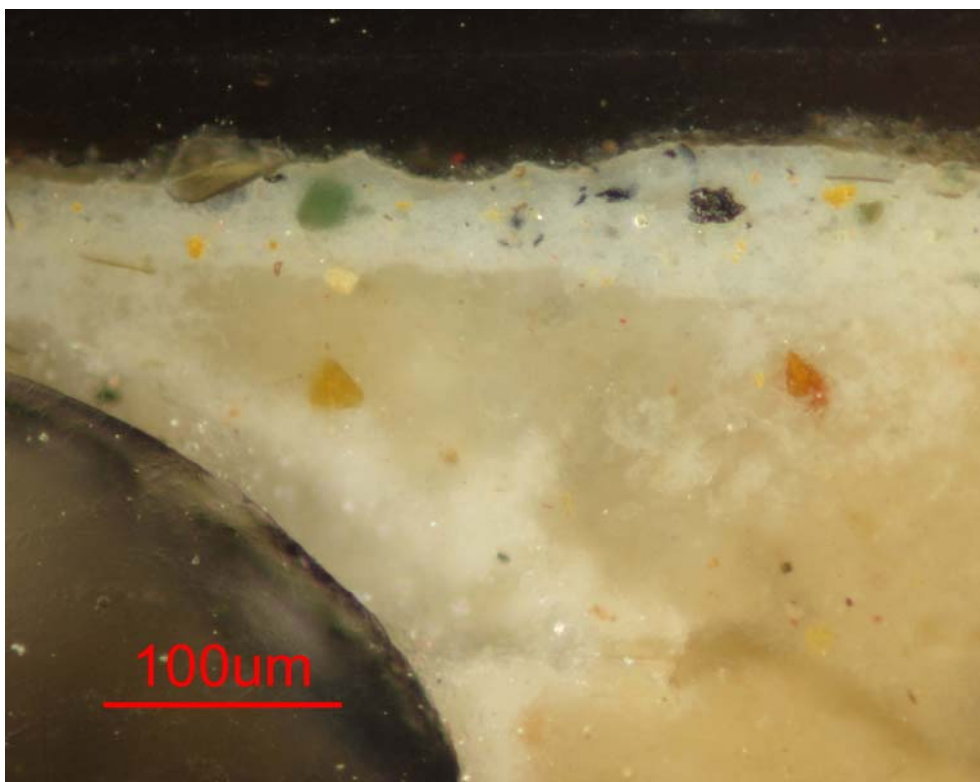
P_07	Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8
Prelievo del deposito superficiale sulla macchia scura sotto la grondaia della chiesa.		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE		
FOTO DEL CAMPIONE		
ANALISI		FT-IR
 <p>LC_07c_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_07c villa Le Campora, deposito superficiale, pKBr, 21/09/10</p>		
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>n</b> – Nitrati (<math>\text{NO}_x</math>)</p> <p><b>g</b> – Gesso (<math>\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>)</p>		

P_08	Riquadro scena parete 1	TAVOLA A8
In corrispondenza del punto P_07, ma prelievo di un frammento costituito anche dallo strato pittorico.		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE		
FOTO DEL CAMPIONE	<div>   </div> <div> <p>fronte</p> <p>fronte</p> </div> <div>   </div> <div> <p>retro</p> <p>retro</p> </div>	

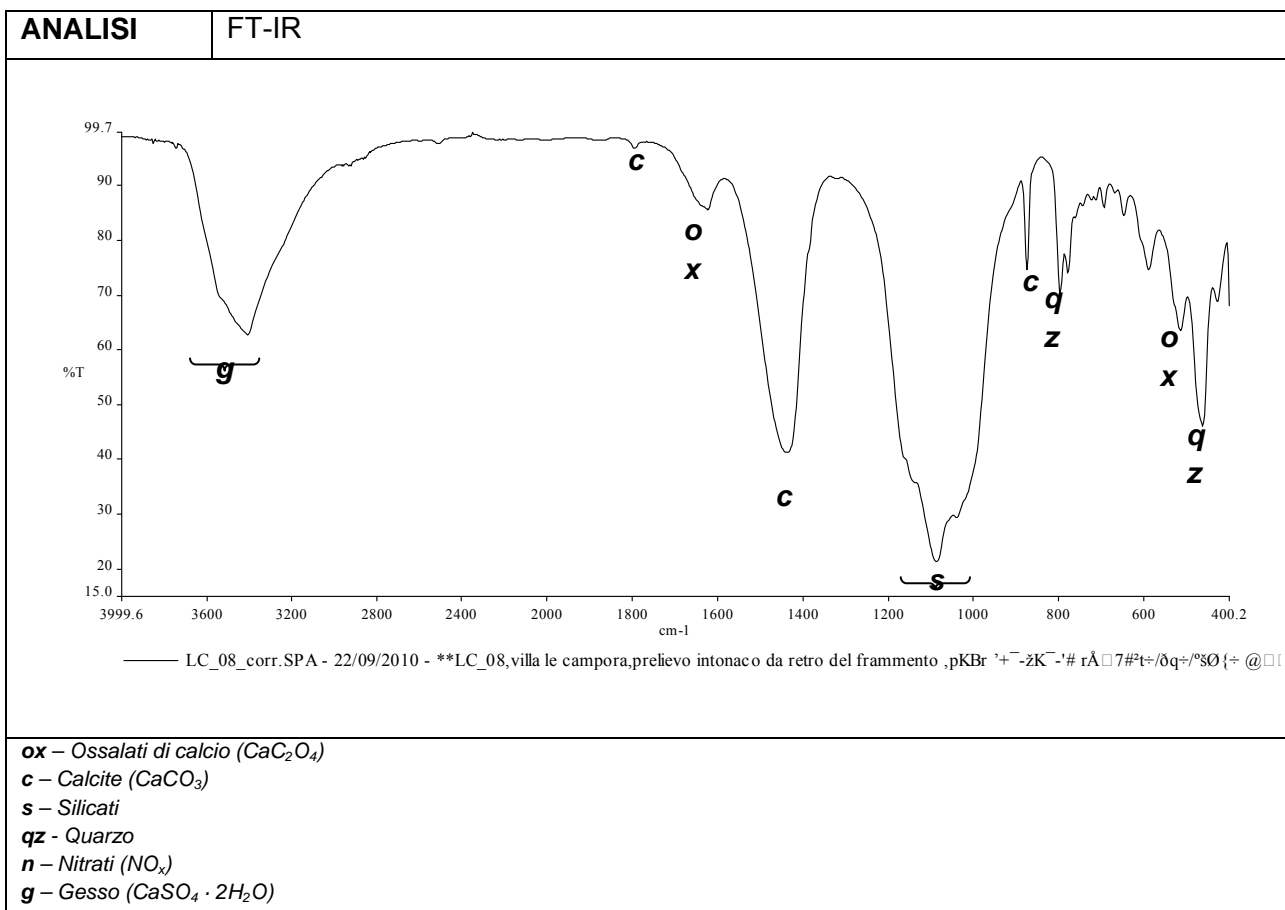
Tre frammenti con aspetto simile a P\_04 e P\_05 con strato pittorico verde ed intonaco sul retro.

Frammenti verdi con zone bianche. Il retro ha grossi grani di diversi colori.



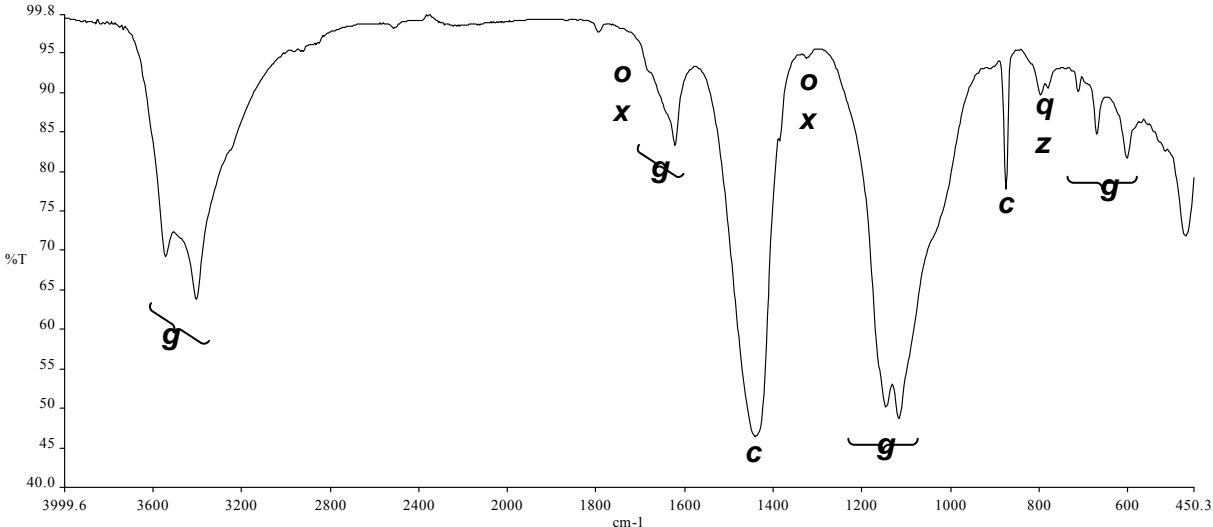


- a. Strato di intonaco costituito da una matrice gialla in cui sono presenti grani di colore e forma diversi
- b. Strato bianco in cui sono immersi dei granuli di colore verde, nero e giallo

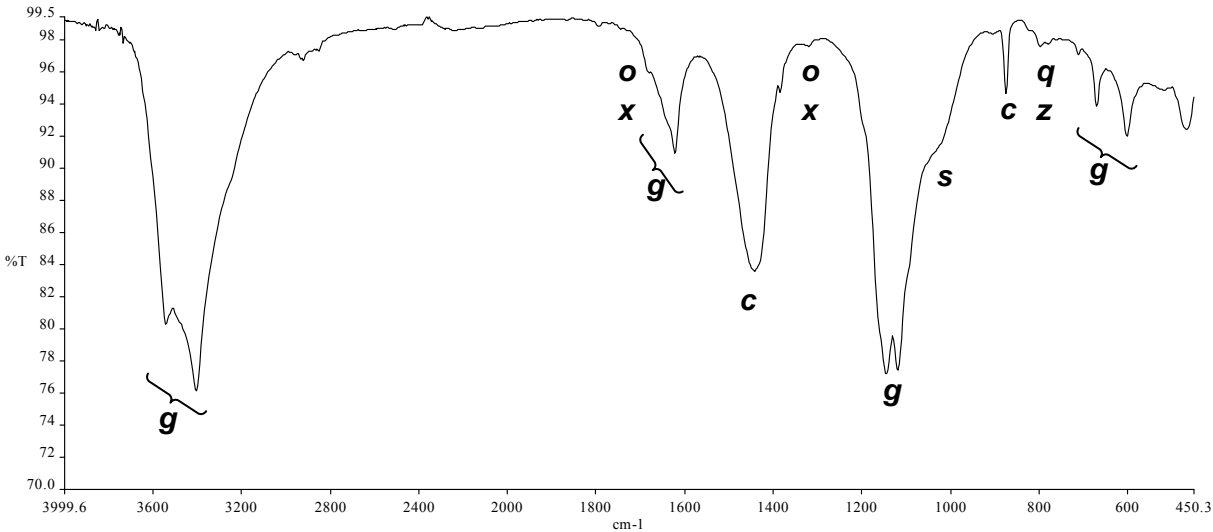




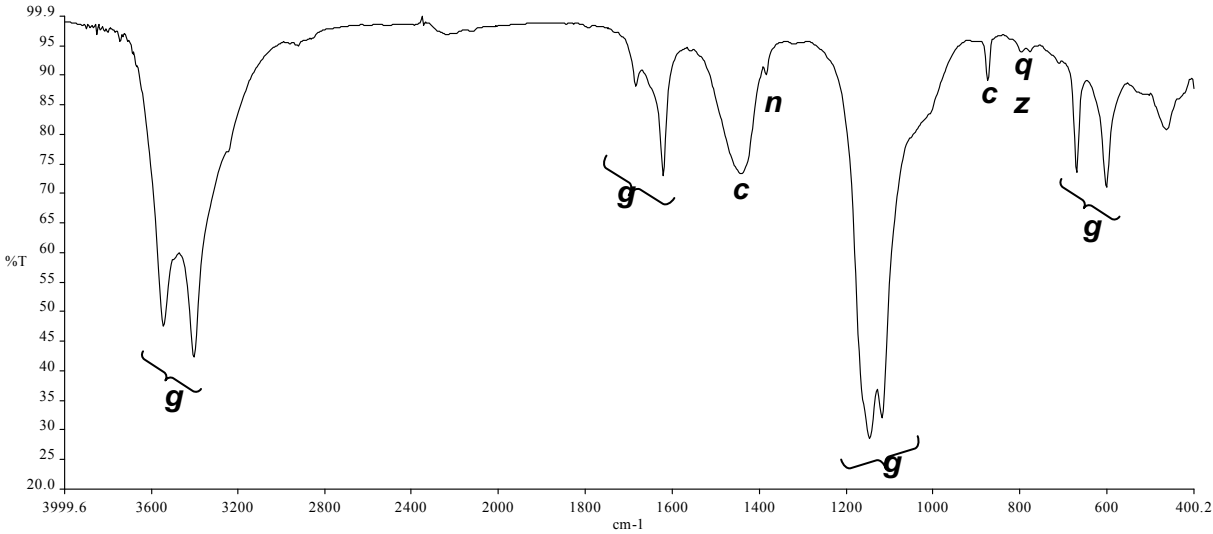
<b>P_09</b>	Semi lunetta sulla parete della finestra, sulla sinistra	<b>TAVOLA A9</b>
Prelievo di polvere superficiale in corrispondenza di una sbianca tura sull'albero		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE		
FOTO DEL CAMPIONE	 <p>           Polvere scura.            Piccolissimi frammenti colorati di rosso, bruno e verde, non fluorescenti. Alcune zone bianche.         </p>	

<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR</b>
 <p>LC_09_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_08 villa Le Campora, polvere su sbiancatura, pKBr, 22/09/10</p>	
<p> <b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)  <b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)  <b>s</b> – Silicati  <b>qz</b> - Quarzo  <b>n</b> – Nitrati (<math>\text{NO}_x</math>)  <b>g</b> – Gesso (<math>\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>)         </p>	



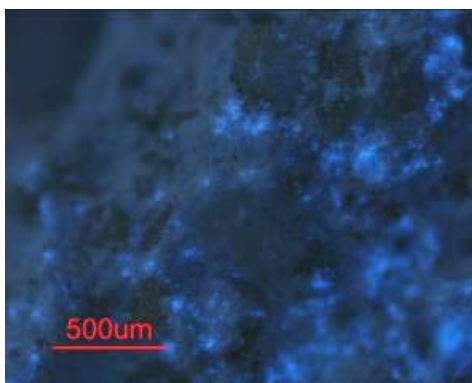

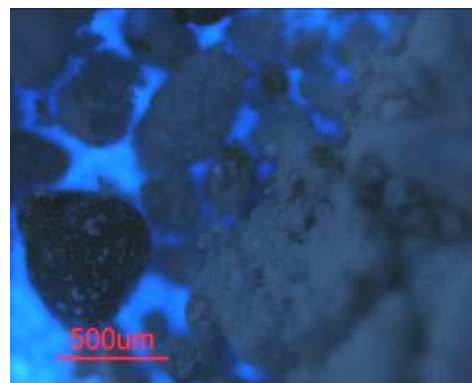
<b>P_10</b>	Semi lunetta sulla parete 2 (della finestra), sulla sinistra	<b>TAVOLA A9</b>
Efflorescenza bianca vicina alla frattura presente all'altezza della mano che tiene il bastone		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE		
FOTO DEL CAMPIONE	 <p>Polvere bruna a granulometria fine con grani rossi e gialli. Non fluorescente.</p>	

<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR</b>
 <p>LC_10_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_10 villa Le Campora, efflorescenza bianca, pKBr, 22/09/10</p>	
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>qz</b> - Quarzo</p> <p><b>n</b> – Nitrati (<math>\text{NO}_x</math>)</p> <p><b>g</b> – Gesso (<math>\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>)</p>	

<b>P_11</b>	Semi lunetta sulla parete 2 (della finestra), sulla sinistra	<b>TAVOLA A9</b>
Efflorescenza bianca molto spessa, facile da prelevare, in corrispondenza di una roccia vicino al punto di prelievo P_10		
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO E IMMAGINE AL MICROSCOPIO DIGITALE PORTATILE		
FOTO DEL CAMPIONE		<p>Polvere bianca, quantità abbondante.</p> <p>Polvere bianca molto fine con piccoli grani di diversi colori e grandi granuli bruni.</p>

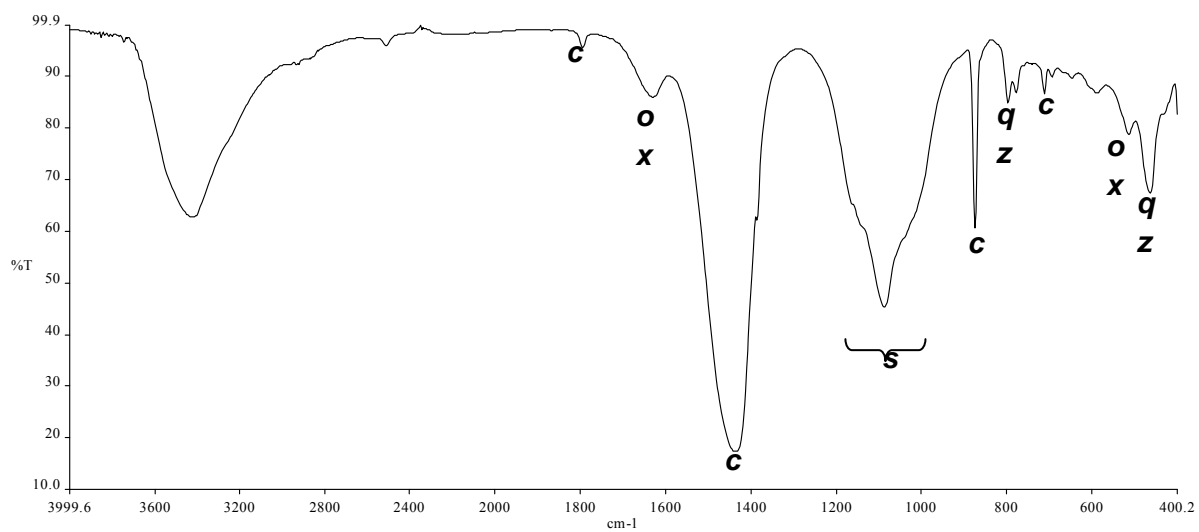
<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR, XRD</b>
 <p>LC_11_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_11,villa le campora,efflorescenza bianca ,pKBr 22/09/10</p>	
<b>ox</b> – Ossalati di calcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ) <b>c</b> – Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) <b>s</b> – Silicati	<b>qz</b> - Quarzo <b>n</b> – Nitrati ( $\text{NO}_x$ ) <b>g</b> – Gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )



P_12-12A		Semi lunetta sulla parete 2 (della finestra), sulla sinistra	TAVOLA A9	
Prelievo dell'intonaco all'altezza della base dell'albero. Dall'intonaco è stato prelevato selettivamente, in corrispondenza di P_12, un grumo bianco rinominato P_12A.				
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO				
FOTO DEL CAMPIONE				
				
				
				
<p>P_12) Polvere molto abbondante di intonaco con grumi più grandi. Granulometria grossolana di colori diversi. Matrice bianca poco fluorescente.</p> <p>P_12A) Polvere bianca abbastanza abbondante. Granuli di colore e forma diversi immersi in una matrice bianca. Non fluorescenti.</p>				

**ANALISI**

FT-IR, XRD



—— LC\_12\_corr.SPA - 22/09/2010 - \*\*LC\_12,villa le campora,polvere di intonaco,pKBr 22/09/10

**ox** – Ossalati di calcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ )

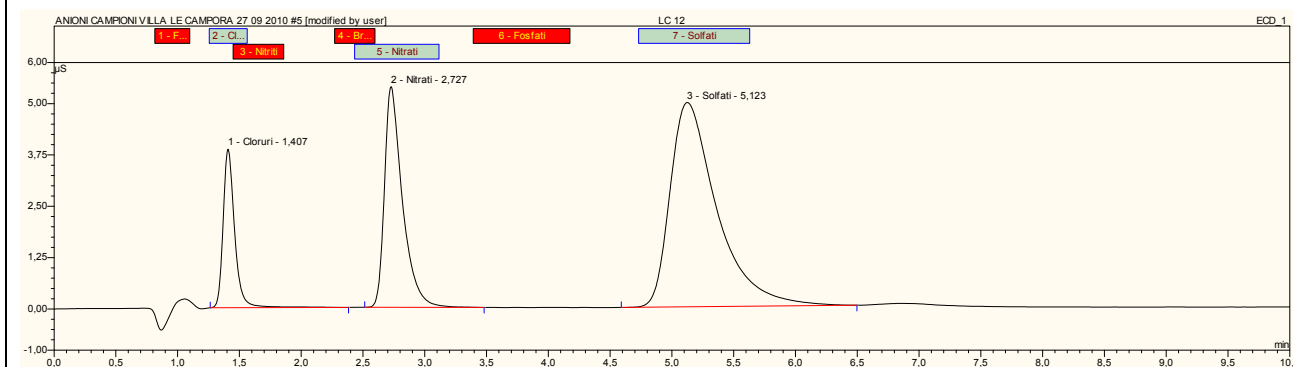
**c** – Calcite ( $\text{CaCO}_3$ )

**s** – Silicati

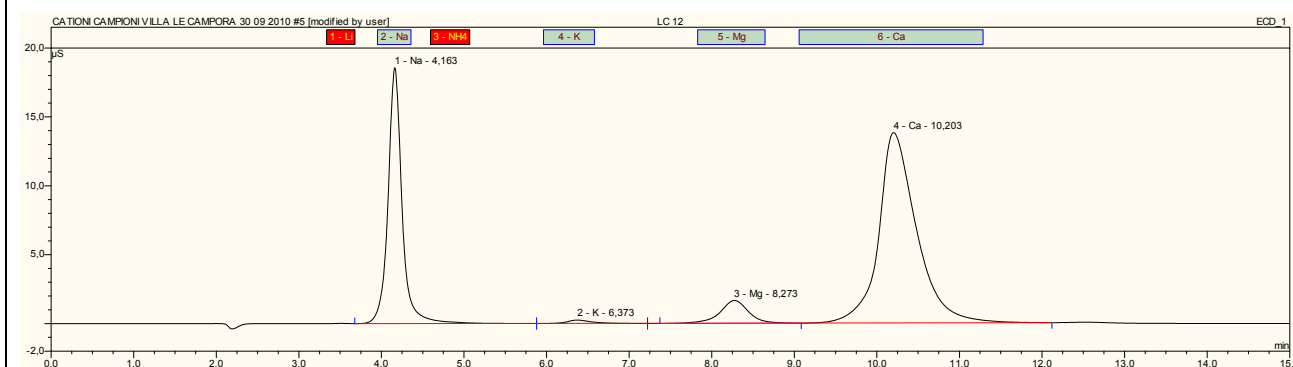
**qz** - Quarzo

<b>ANALISI</b>	<b>CI</b>
----------------	-----------

# **ANIONI**


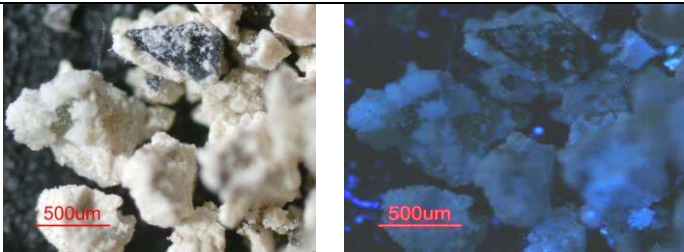


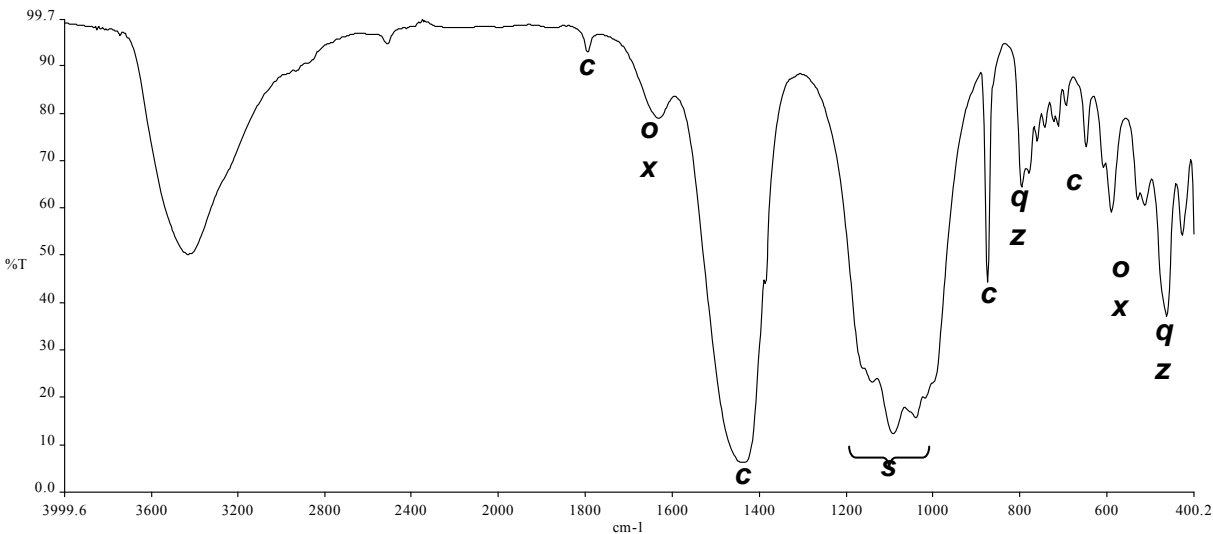
# **CATIONI**



mmoli/100 g polvere

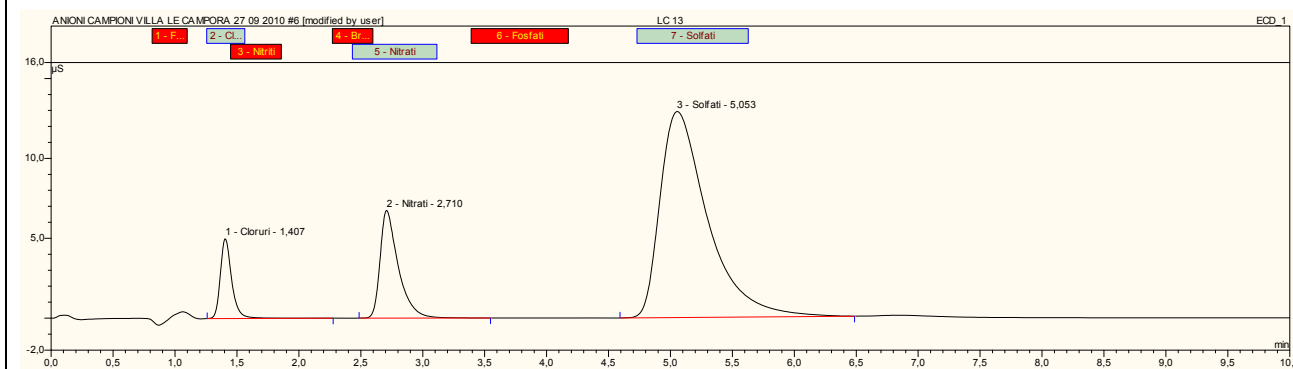
	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Mg<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>
<b>LC 12</b>	0,0033	0,0069	-	0,0078	0,0105	0,002	0,0010	0,0105

<b>P_13</b>	Semi lunetta sulla parete della finestra, sulla sinistra	<b>TAVOLA A9</b>
Prelievo di un frammento di intonaco in corrispondenza della roccia sullo sfondo tra il personaggio sulla sx e il centauro in alto.		
<b>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO</b>		
<b>FOTO DEL CAMPIONE</b>	 <p>Polvere molto abbondante con frammenti di dimensioni maggiori. Grani grandi di colori diversi. Non fluorescente.</p>	

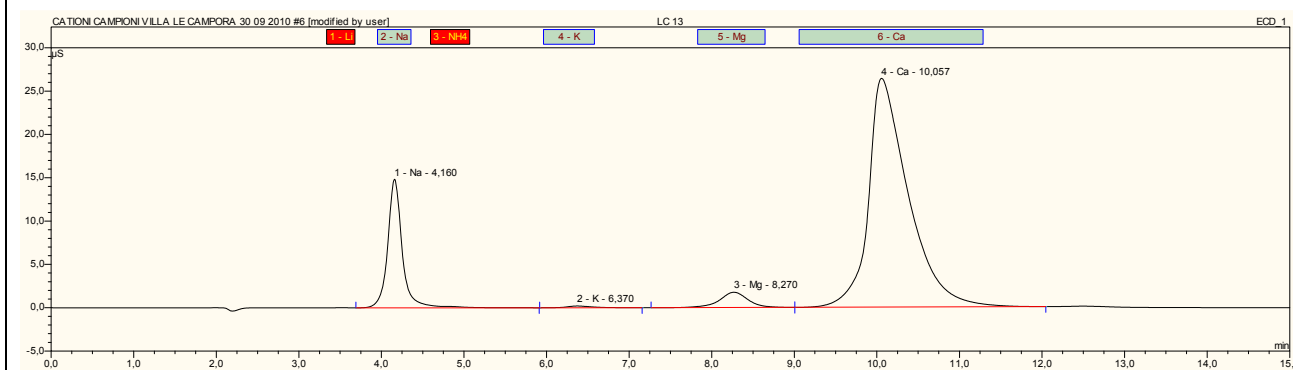
<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR, XRD</b>
 <p>LC_13_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_13,villa le campora,intonaco,pKBr 22/09/10</p>	
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>qz</b> - Quarzo</p>	

<b>ANALISI</b>	<b>CI</b>
----------------	-----------

# **ANIONI**


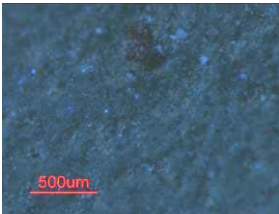
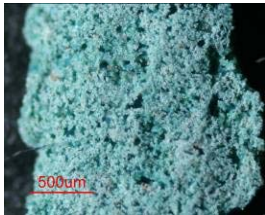
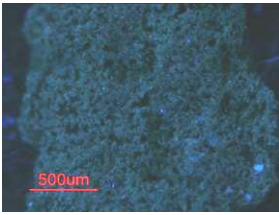
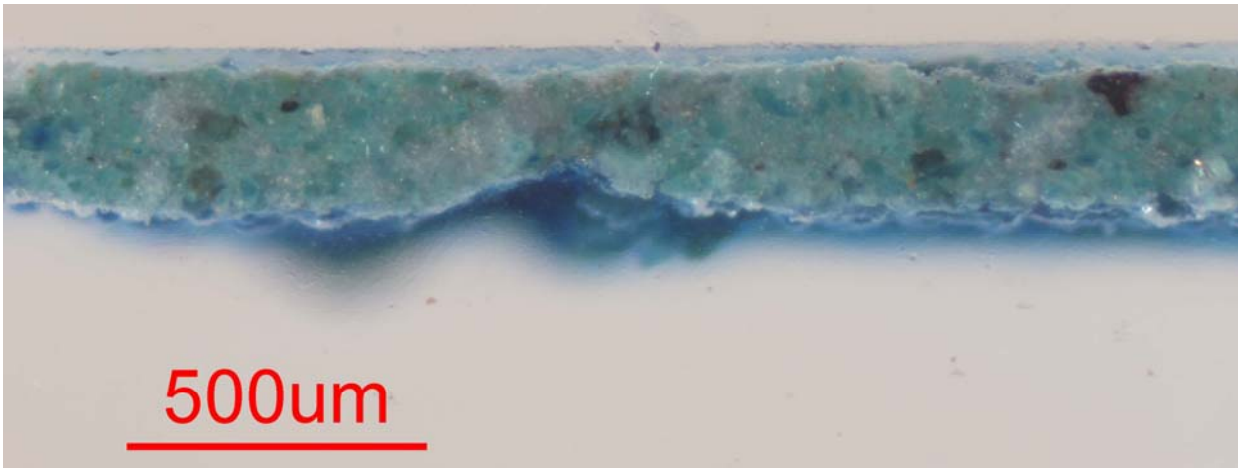
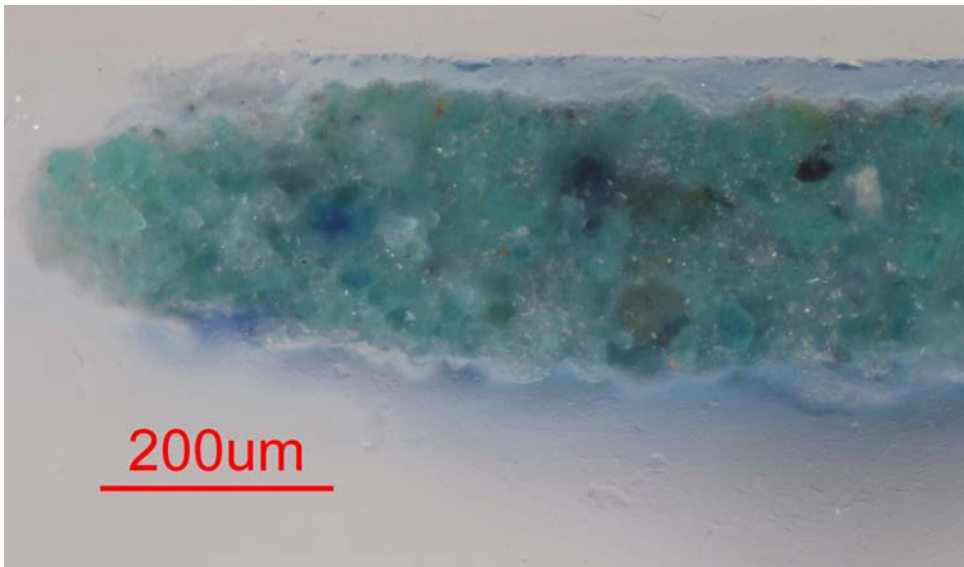


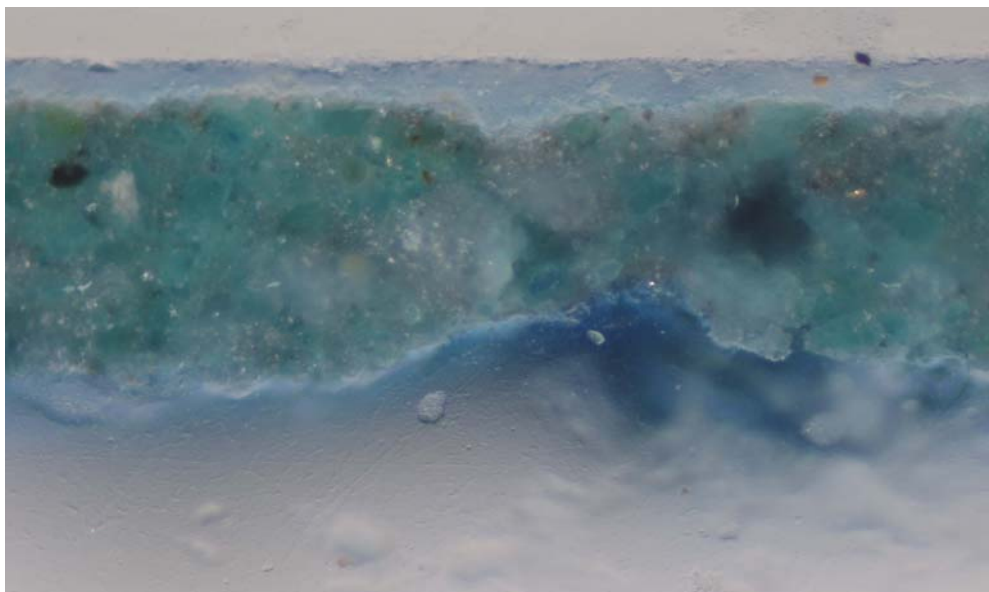
# **CATIONI**



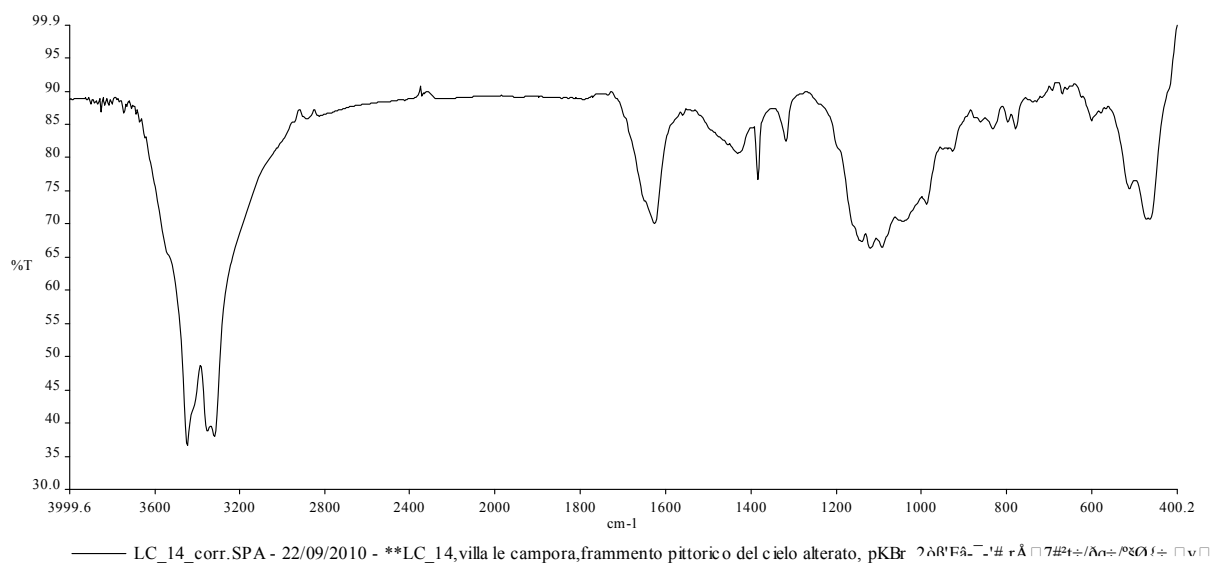
**mmoli/100 g polvere**

	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Mg<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>
<b>LC 13</b>	0,0043	0,0089	-	0,0209	0,0089	0,002	0,0011	0,0214

P_14	Semi lunetta sulla parete 2 (della finestra), sulla sinistra	TAVOLA A9	
Campione erratico. Frammento pittorico del cielo alterato in verde.			
FOTO DEL CAMPIONE			Cinque frammenti di strato pittorico di colore verde. Un frammento è più grande. Non si distingue bene il fronte dal retro, entrambi sono verdi ma di due tonalità differenti. Quello che probabilmente è il fronte è più opaco, con grani azzurro-verdi in matrice chiara, alcuni grani sono di colori diversi e non è fluorescente. Il probabile retro è di un verde più acceso ed è molto compatto, non è fluorescente.
	probabile fronte	probabile fronte	
			
	probabile retro	probabile retro	
			
			



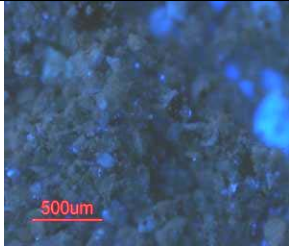
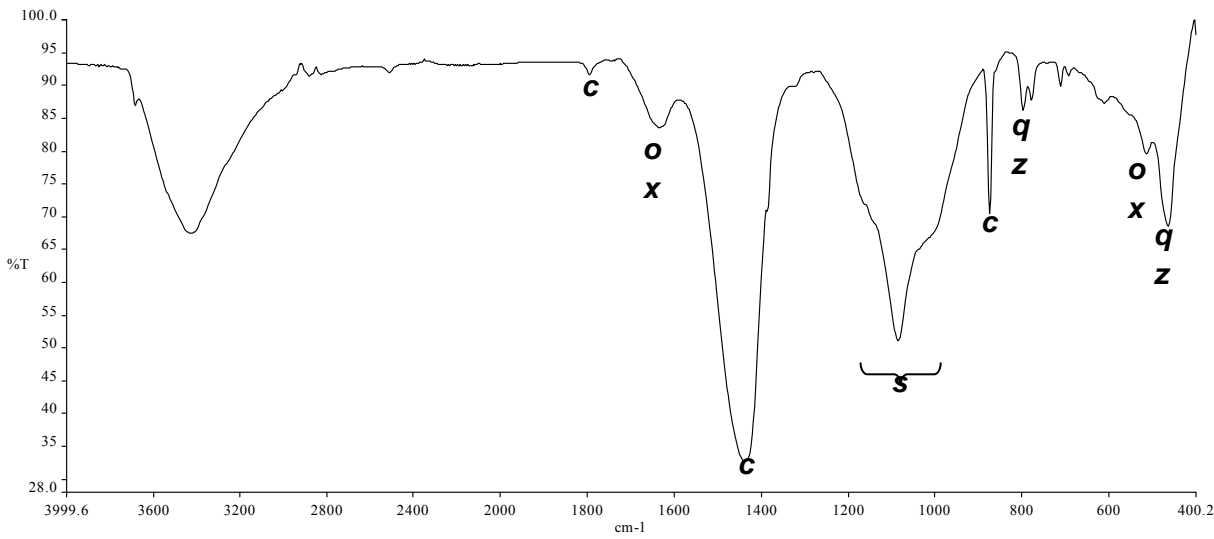


Nel campione è visibile un solo strato costituito da granuli di colore verde. Sono presenti alcuni granuli di colore marrone scuro e alcuni di colore azzurro. Questi sono i residui di pigmento originale non ancora alteratosi.

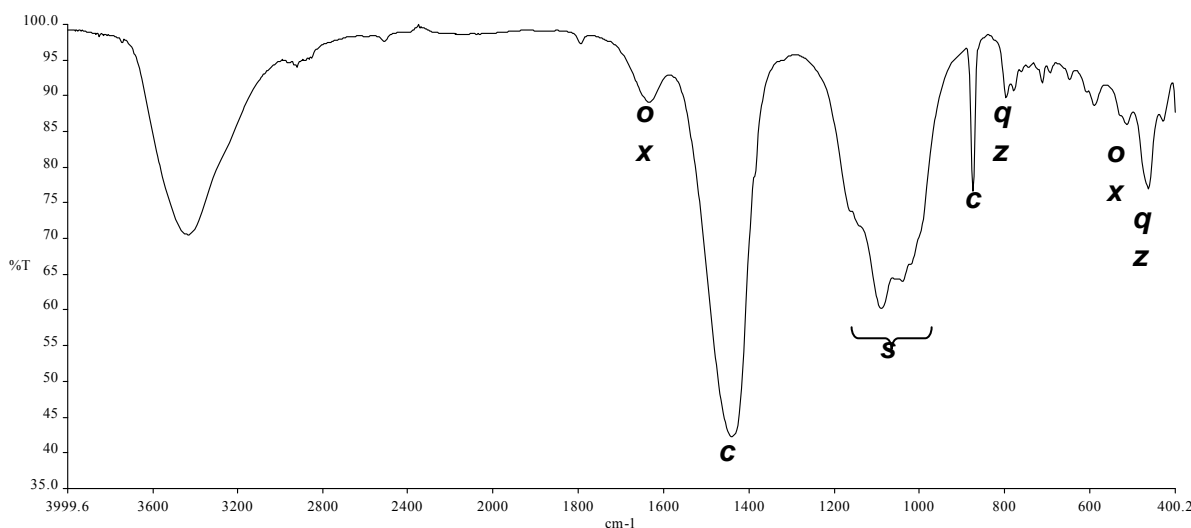
**ANALISI****FT-IR**

Lo spettro del campione presenta le bande caratteristiche del cloruro di rame in forma di para-atacamite o atacamite.



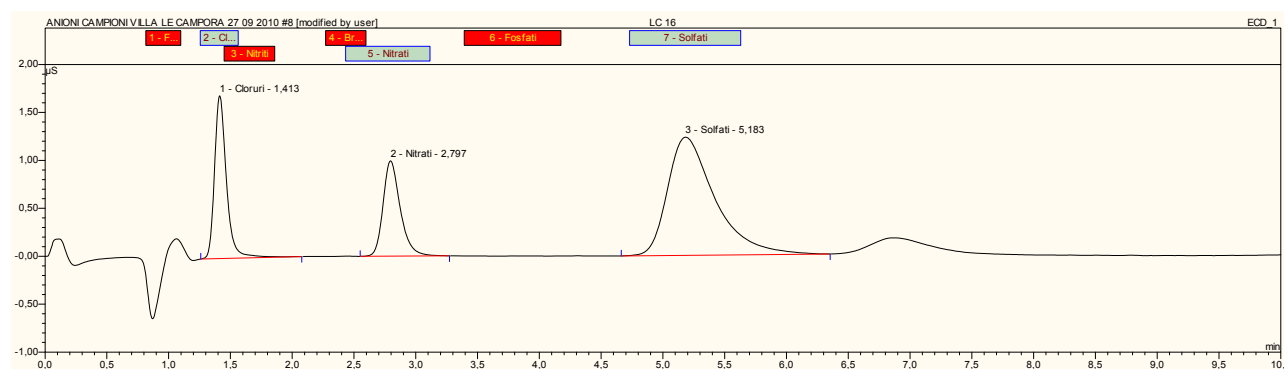
P_15		Parete 1, a sinistra della finestra		TAVOLA A9	
Campione proveniente dalla balza marrone in basso. Sulla parete 1 (parete di sinistra vista altare).					
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO					
FOTO DEL CAMPIONE					
		Polvere bianca fine con grani di diversi colori e forme.			
ANALISI		FT-IR			
 <p>LC_15_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_15,villa le campora,polvere, pKBr, 22/09/10</p>					
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>qz</b> – Quarzo</p>					

<b>P_16</b>	Semi lunetta sulla parete 2 (della finestra), sulla sinistra	<b>TAVOLA A9</b>
Campione proveniente dalla balza marrone sulla parete 1 in basso.		
<b>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO</b>		
<b>FOTO DEL CAMPIONE</b>	<div>   </div> <div> <p>Polvere bianca molto simile a P_15. Granulometria complessivamente fine con grani di diversi colori e dimensioni. Non fluorescente.</p> </div>	

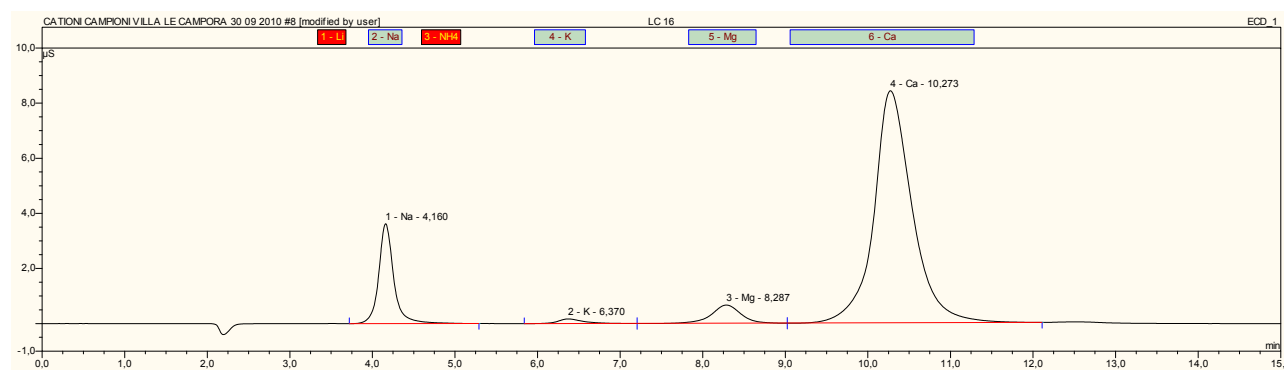
<b>ANALISI</b>	FT-IR, XRD
 <p>LC_16_corr.SPA - 22/09/2010 - **LC_16,villa le campora,polvere marrone,pKBr 22/09/10</p>	
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>qz</b> - Quarzo</p>	

<b>ANALISI</b>	<b>CI</b>
----------------	-----------

## ANIONI



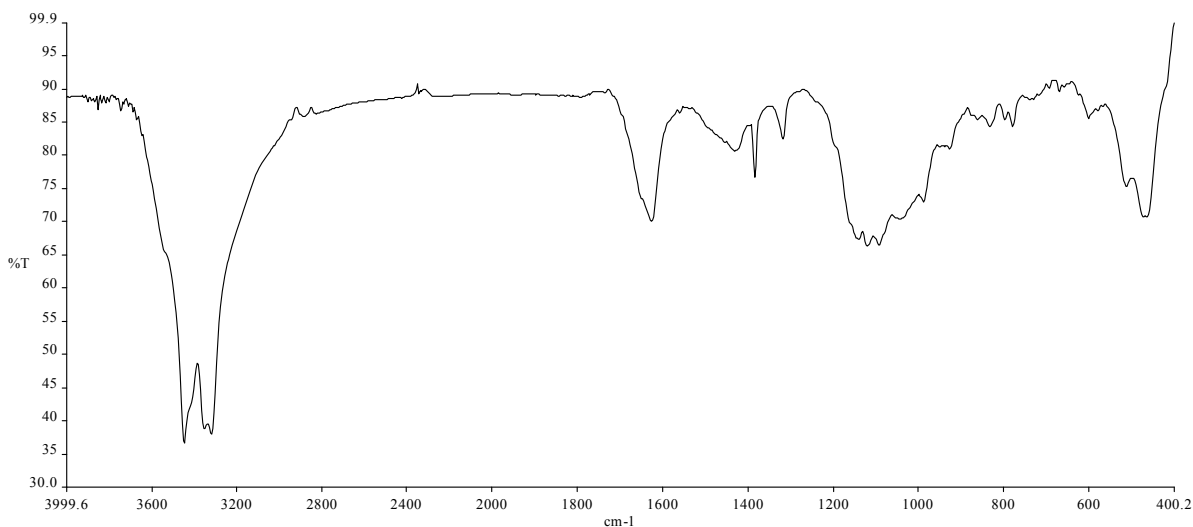
## CATIONI



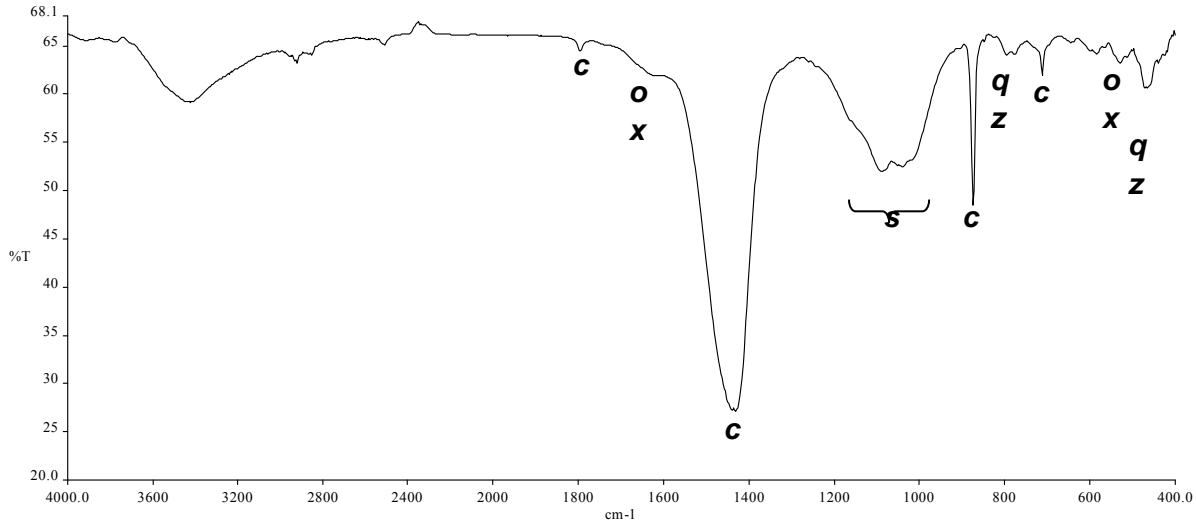
mmoli/100 g polvere


	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Mg<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>
<b>LC 16</b>	0,0049	0,0039	-	0,0061	0,0071	0,0005	0,0014	0,0209

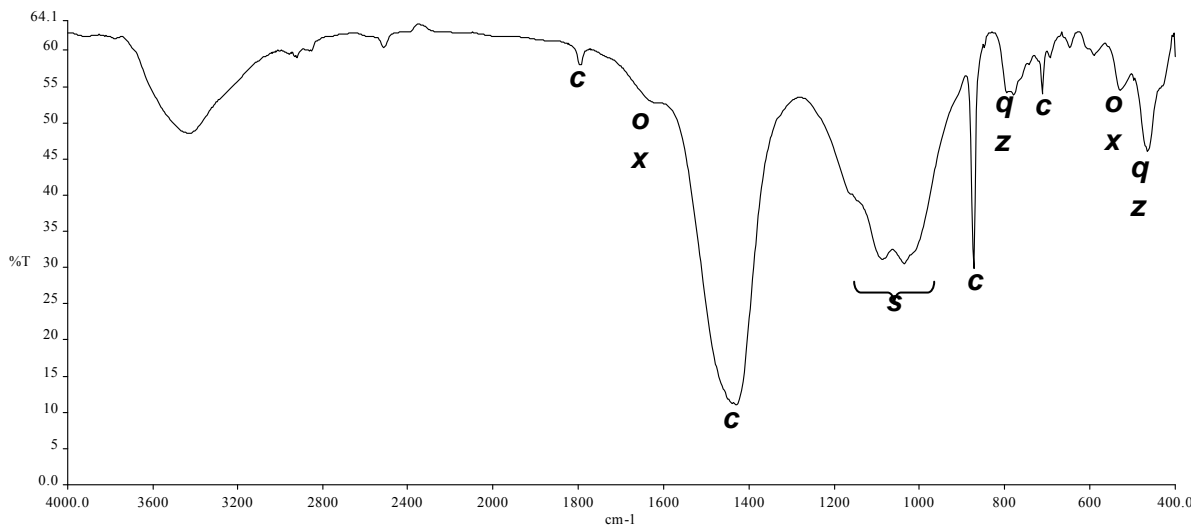
<b>P_17</b>	Semi lunetta sulla parete 2, sulla sinistra	<b>TAVOLA A9</b>
<b>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO</b>		


<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR</b>
 <p>—— P_17_corr.SPA – 22/09/2010- **P_17, villa le campora, frammento pittorico proveniente dal cielo alterato</p>	
<p>Come per il frammento P_14, lo spettro del campione presenta le bande caratteristiche del cloruro di rame in forma di para-atacamite o atacamite</p>	

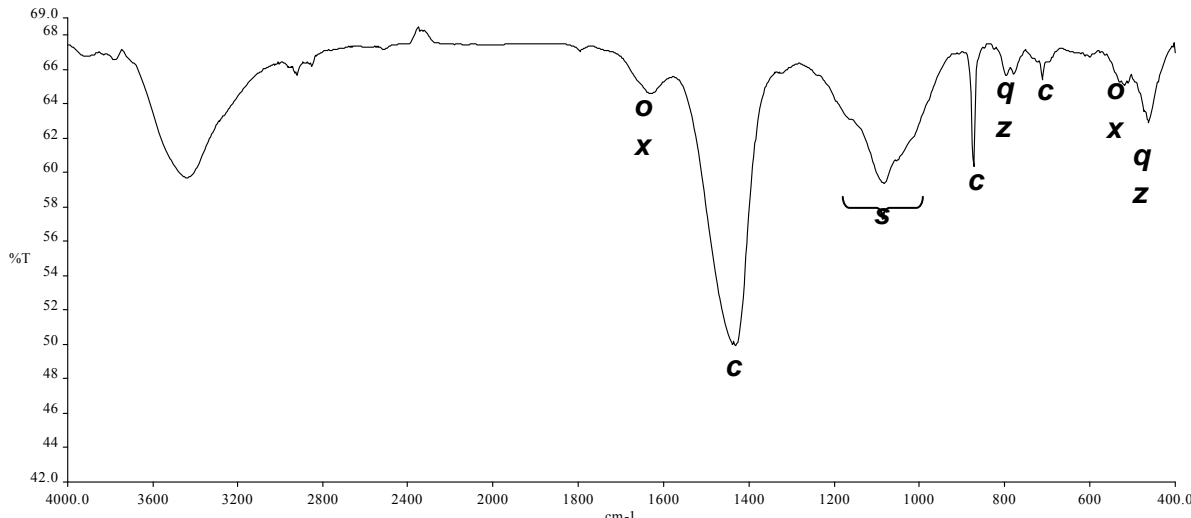
<b>P_18</b>	Parete 1, di sinistra	<b>TAVOLA A10</b>
Campione proveniente dalla balza geometrica della parete lato destro, sotto la scena principale. Prelievo per analisi dell'intonaco retrostante. Verifica della presenza di solfatazione		
<b>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO</b>		

<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR</b>
 <p>LC_18.002 - 12/01/2011 - LC_18 12/01/2011</p>	
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>qz</b> - Quarzo</p>	

<b>P_19</b>	Arco di ingresso della Cappella, sulla sinistra	<b>TAVOLA A8</b>
Campione proveniente dall'arco di ingresso della Cappella, in corrispondenza della base di un'architettura. Prelievo per analisi dell'intonaco retrostante. Verifica della presenza di solfatazione		
<b>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO</b>		

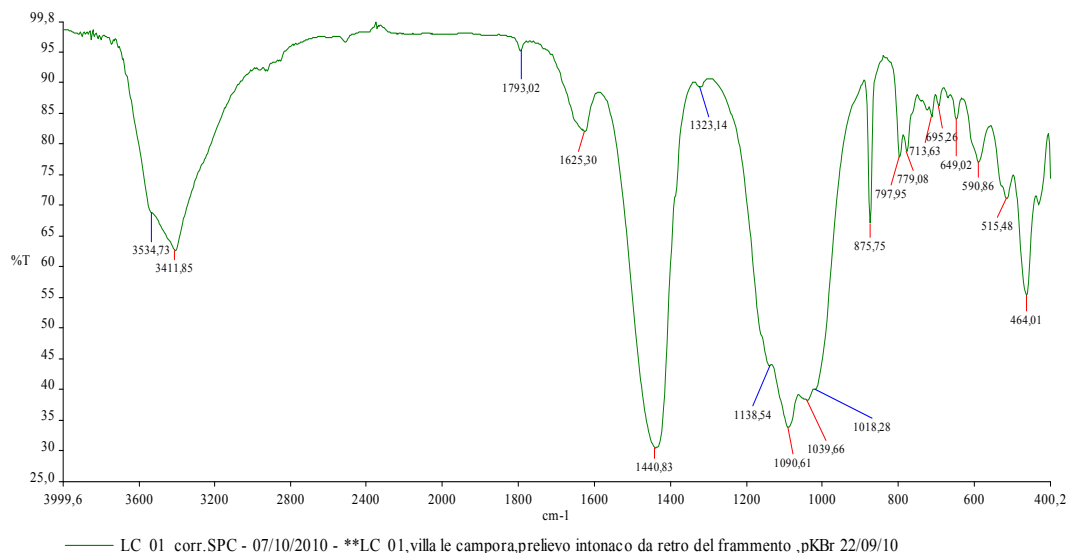
<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR</b>
 <p>LC_19.002 - 12/01/2011 - LC_19 12/01/2011</p>	
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>qz</b> - Quarzo</p>	

<b>P_20</b>	Parete 1, di sinistra	<b>TAVOLA A8</b>
Campione proveniente dalla balza marrone sulla parete in basso a sinistra. Prelievo per analisi dell'intonaco retrostante. Verifica della presenza di solfatazione		
<b>FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO</b>		

<b>ANALISI</b>	<b>FT-IR</b>
 <p>LC_20.002 - 12/01/2011 - LC_20 12/01/2011</p>	
<p><b>ox</b> – Ossalati di calcio (<math>\text{CaC}_2\text{O}_4</math>)</p> <p><b>c</b> – Calcite (<math>\text{CaCO}_3</math>)</p> <p><b>s</b> – Silicati</p> <p><b>qz</b> - Quarzo</p>	

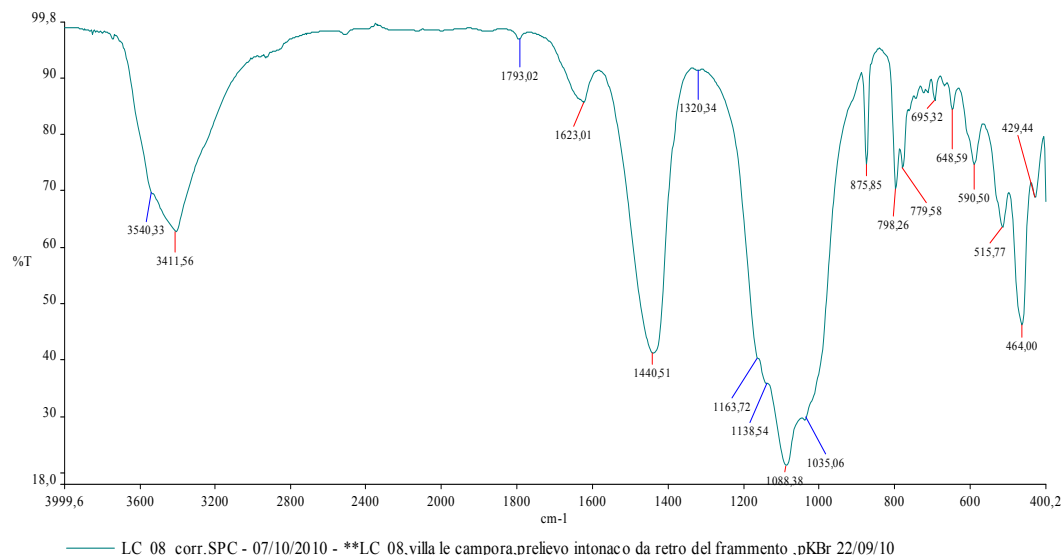
## RISULTATI DEL CAMPIONAMENTO

Dall'elaborazione degli spettri IR è possibile suddividere i campioni prelevati in tre gruppi diversi. Il primo di cui si riporta ad esempio lo spettro del campione P\_01 (Figura 27), risulta costituito da calcite (bande a 1790, 1440, 875  $\text{cm}^{-1}$ ), ossalati di calcio (1625, 1323, 516  $\text{cm}^{-1}$ ), silicati (nell'intervallo spettrale intorno a 1000-1100  $\text{cm}^{-1}$ ) e le bande caratteristiche del quarzo a 797-779 e 466  $\text{cm}^{-1}$ ) e gesso in scarse quantità (3545-3404, 1641-1621, 1144-1117, 671-603  $\text{cm}^{-1}$ ).



**Figura 27 – Spettro FT-IR del frammento P\_01**

Il secondo gruppo, rappresentato in Figura 28 dal campione P\_08, risulta costituito dagli stessi elementi presenti nel campione precedente, ma in quantità differenti. In questo gruppo infatti appaiono molto più intensi i segnali relativi agli ossalati di calcio (1625, 1323  $\text{cm}^{-1}$ ).

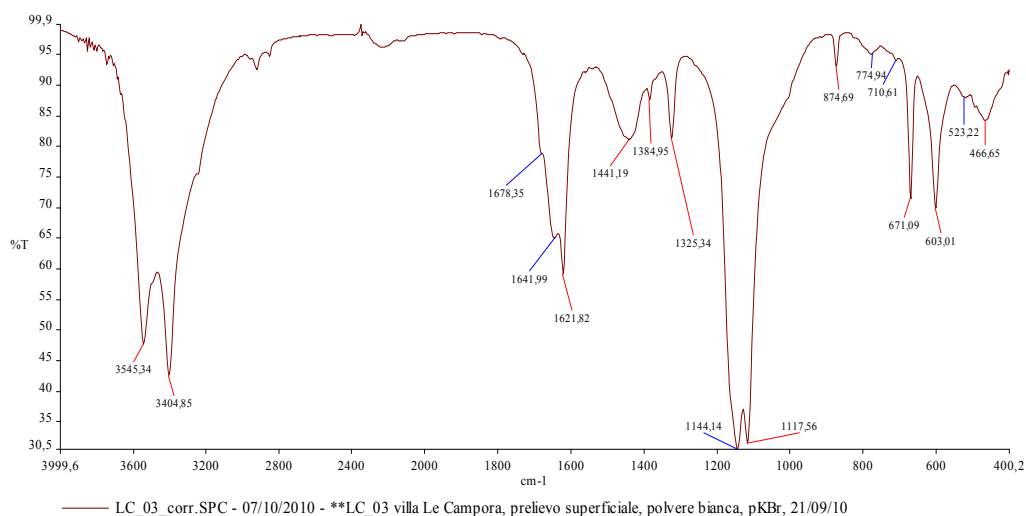


**Figura 28 – Spettro FT-IR del frammento P\_08**

Come esempio del terzo gruppo si riporta lo spettro IR del campione P\_03 (Figura 29), in cui, a differenza dei primi due gruppi, si osserva nello spettro una presenza abbondante di gesso (3545-3404, 1641-1621, 1144-1117, 671-603  $\text{cm}^{-1}$ ), e segnali molto più deboli della calcite (bande a 1790, 1440, 875  $\text{cm}^{-1}$ ) e degli ossalati di calcio (1625, 1323  $\text{cm}^{-1}$ ). Questa variazione delle intensità relative dei segnali e della mancanza dei segnali dei silicati, può essere ricondotta innanzitutto alla tipologia di campione analizzato. Per i primi due gruppi i campioni erano frammenti di intonaco e quindi i materiali presenti sono riconducibili ai materiali costitutivi dell'intonaco, mentre in questo



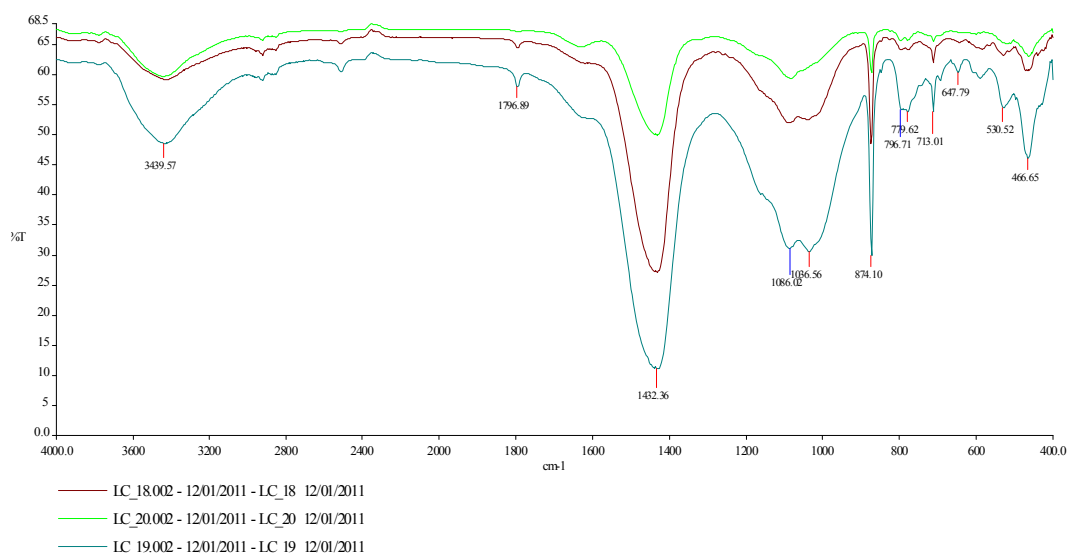
caso la maggior parte dei campioni appartenenti a questo gruppo sono patine superficiali di alterazione. La massiccia presenza di gesso in superficie si può giustificare con la presenza di un'estesa solfatazione, come confermato anche dall'analisi tramite cromatografia ionica, che presenta per il campione in questione elevati valori sia dell'anione  $\text{Ca}^{2+}$  che del solfato  $\text{SO}_4^{2-}$ .



**Figura 29 – Spettro FT-IR del frammento P\_03**

Anche gli spettri FORS hanno rilevato una presenza importante del gesso, che talvolta ha fatto ipotizzare la possibile presenza di tale composto nell'impasto dell'intonaco. Per verificare la ragionevolezza di tale ipotesi, è stato deciso di effettuare un secondo campionamento, su tre aree rappresentative dell'intonaco (P\_18-19-20), in modo da confermare se il gesso rilevato fosse imputabile ad un processo di alterazione o al suo impiego come materiale costitutivo dell'intonaco. Le aree di campionamento sono state scelte in base all'assenza di fenomeni di degrado e in zone il più possibile interne al supporto.

Gli spettri acquisiti su questi prelievi non hanno mostrato i segnali del gesso, pertanto si può escludere l'impiego del gesso come inerte nell'impasto dell'intonaco (vedi Figura 30).



**Figura 30 – Spettri FT-IR dei frammenti P\_18-19 e 20**

I campioni P\_14 e P\_17 sono stati analizzati anch'essi tramite spettroscopia IR e gli spettri hanno mostrato la presenza dei segnali relativi a paratacamite-atacamite, due cloruri di rame, che sono due fasi cristalline di alterazione dell'azzurrite. In entrambi i campioni è stata inoltre rilevata la presenza di sali nitrati, che sono solitamente derivanti da infiltrazioni dal terreno o da decomposizione di sostanze organiche come guano.

L'elaborazione dei diffrattogrammi acquisiti sui campioni P\_4, 11, 12, 13, 16 ha confermato i risultati dell'analisi FT-IR.

Anche le analisi di Cromatografia Ionica hanno avallato i risultati della spettroscopia FT-IR, in quanto, come già sottolineato, il campione P\_04 contiene gli ioni Solfato e Calcio in abbondanza, e, anche se in minore quantità, gli ioni Cloro, Nitrato, Sodio, Magnesio e Potassio; mentre nei campioni P\_12, 13, 16 c'è una minore quantità relativa di entrambi gli ioni Solfato e Calcio. Gli ioni Nitrato risultano presenti nell'intonaco nei prelievi P\_12, 13 e 16, dato confermato anche dalle misure dielettrometriche mediante SUSI.

Tabella VI – Tabella riassuntiva dei campionamenti, delle tecniche di indagine applicate e dei risultati espressi tramite una stima semi-quantitativa degli elementi rilevati.

ELABORAZIONE SPETTRI FT-IR, XRD e CI

SIGLA	DESCRIZIONE	FT-IR					CLORURI DI RAME	XRD						CI									
		GESSO	CALCITE	NITRATI	SILICATI	OSSALATI		GESSO	CALCITE	QUARZO	K feldspati	Plagioclasti	Miche	OSSALATI	ANIONI				CATIONI				
															Cl <sup>-</sup>	NO <sup>3-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	
P_01	retro di frammento con intonaco e strato pittorico	+	+++	+	++	++																	
P_02	prelievo superficiale sbiancatura post impacco	+++	++	+	-	+++																	
P_03	Prelievo superficiale a bisturi	+++	+	++	-	+++									++	++	tr	+++	++	+	+	+++	
P_04	Prelievo di intonaco	+	+++	+	+++	++		+	+++	+++	++	++		tr	+	+		+++	+	tr	+	+++	
P_05	Retro frammento con intonaco e strato pittorico	+	+++	+	++	+																	
P_06	Patina Bianca prelevata a bisturi	+++	+++	+	+	+																	
P_07	Prelievo superficiale su macchia scura	+++	++	+	-	+																	
P_08	Retro del frammento con intonaco e strato pittorico	+	+++	-	+++	+++																	
P_09	Polvere superficiale su sbiancatura	+++	+++	+	++	++																	
P_10	Efflorescenza Bianca	+++	++	+	-	+																	
P_11	Efflorescenza bianca	+++	++	+	-	+		+++	+														
P_12	Prelievo di intonaco	+	+++	-	+++	+++		tr	+++	+++	++	++			++	++		++	++	tr	+	++	
P_12A	Grumo bianco disperso nell'intonaco	-	+++	-	+++	+++			+++	+	+	+											

	P_13	Frammento di intonaco	-	+++	+	++	+++			+++	+++	++	++	tr	tr	++	++		++	+	tr	+	++
	P_14	Frammento dello strato pittorico (campione erratico)	+	-	+++	+	-	+++															
	P_15	Polvere dalla balza in basso	-	+++	+	+++	+++																
	P_16	Polvere dalla balza in basso	-	+++	+	++	+++		tr	+++	+++	++	++	tr		++	++		++	+	tr	+	++
	P_17	Frammento dello strato pittorico	+	-	+++	+	-	+++															
	P_18	Frammento di intonaco																					
	P_19	Frammento di intonaco																					
	P_20	Frammento di intonaco																					

TAVOLA A8

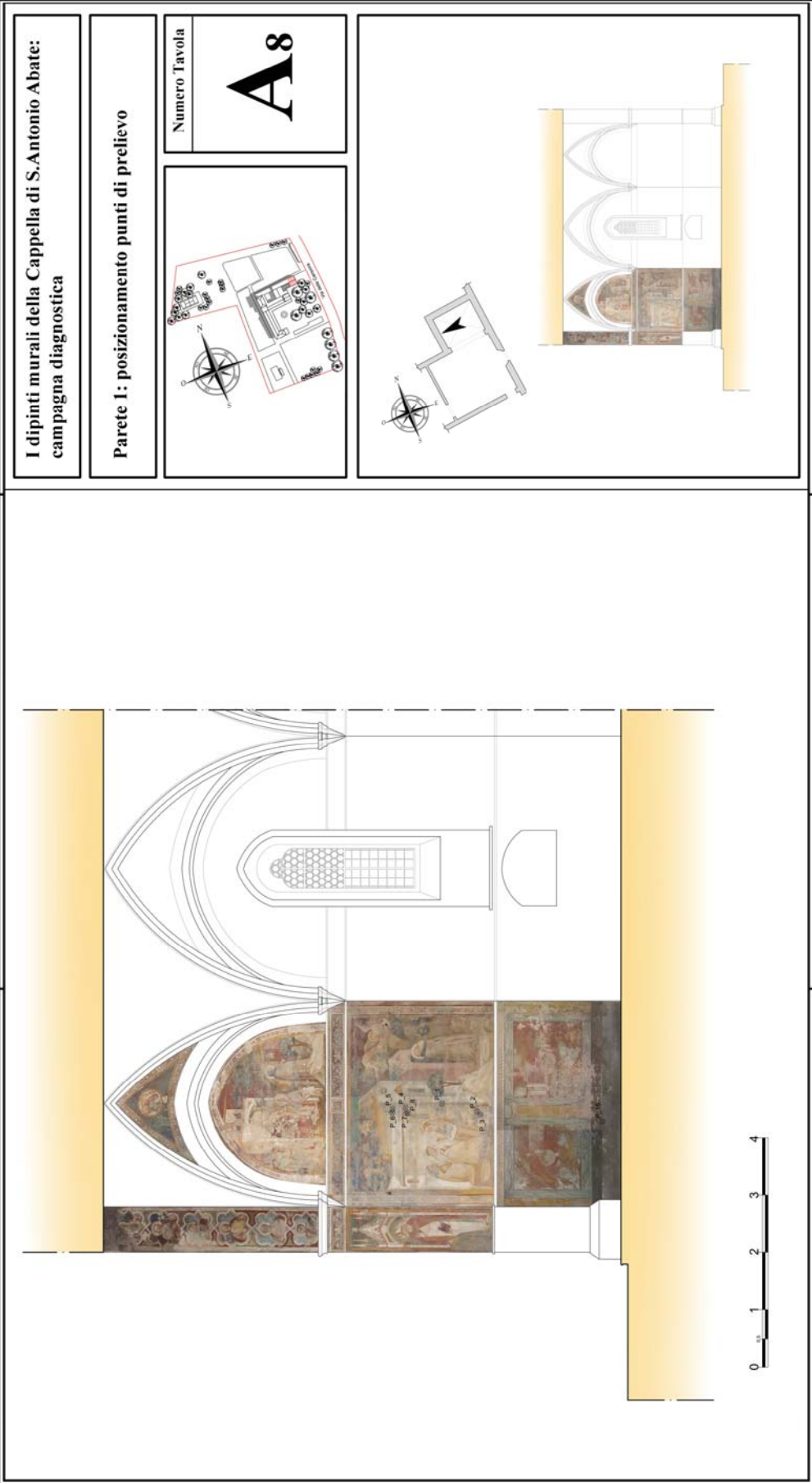
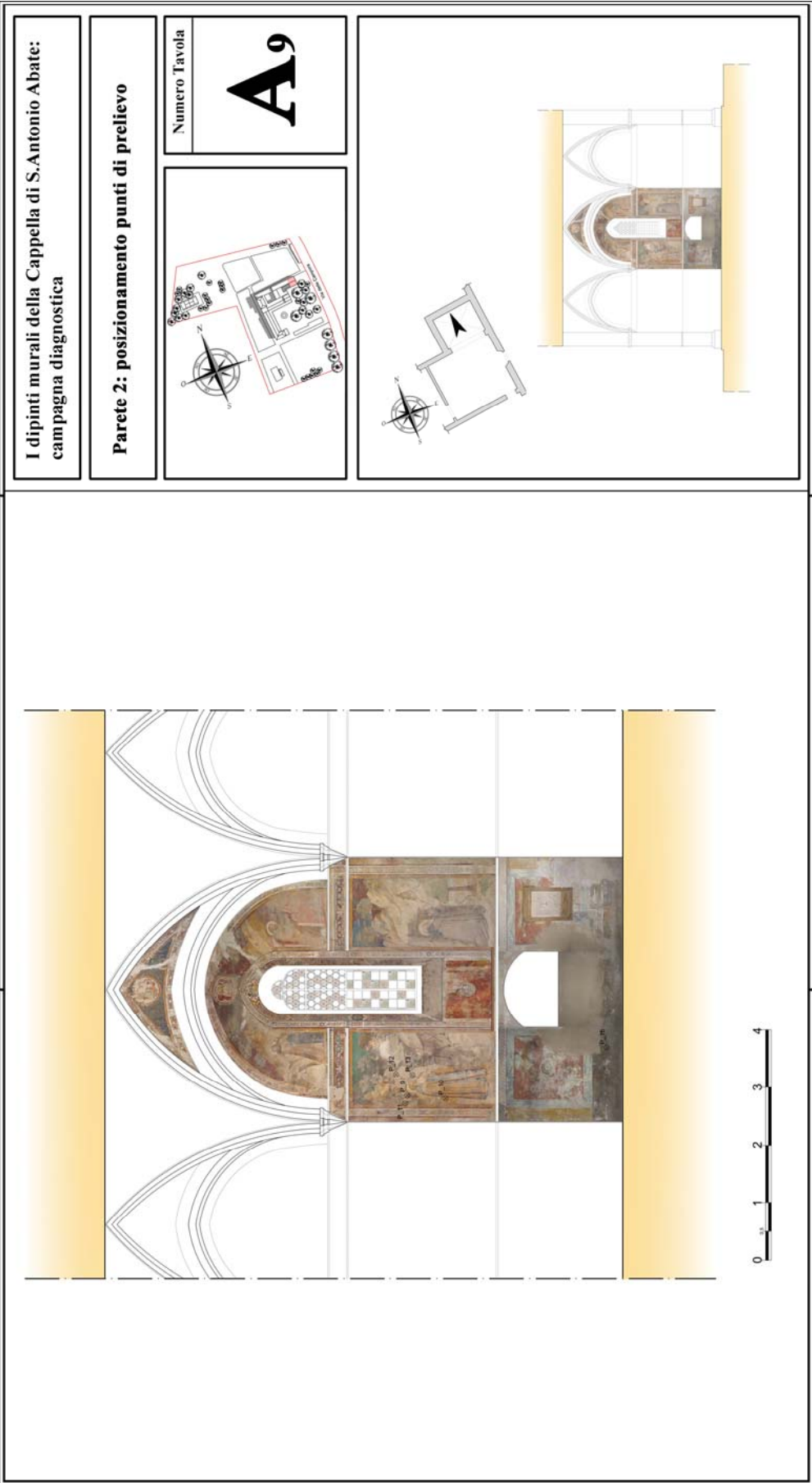
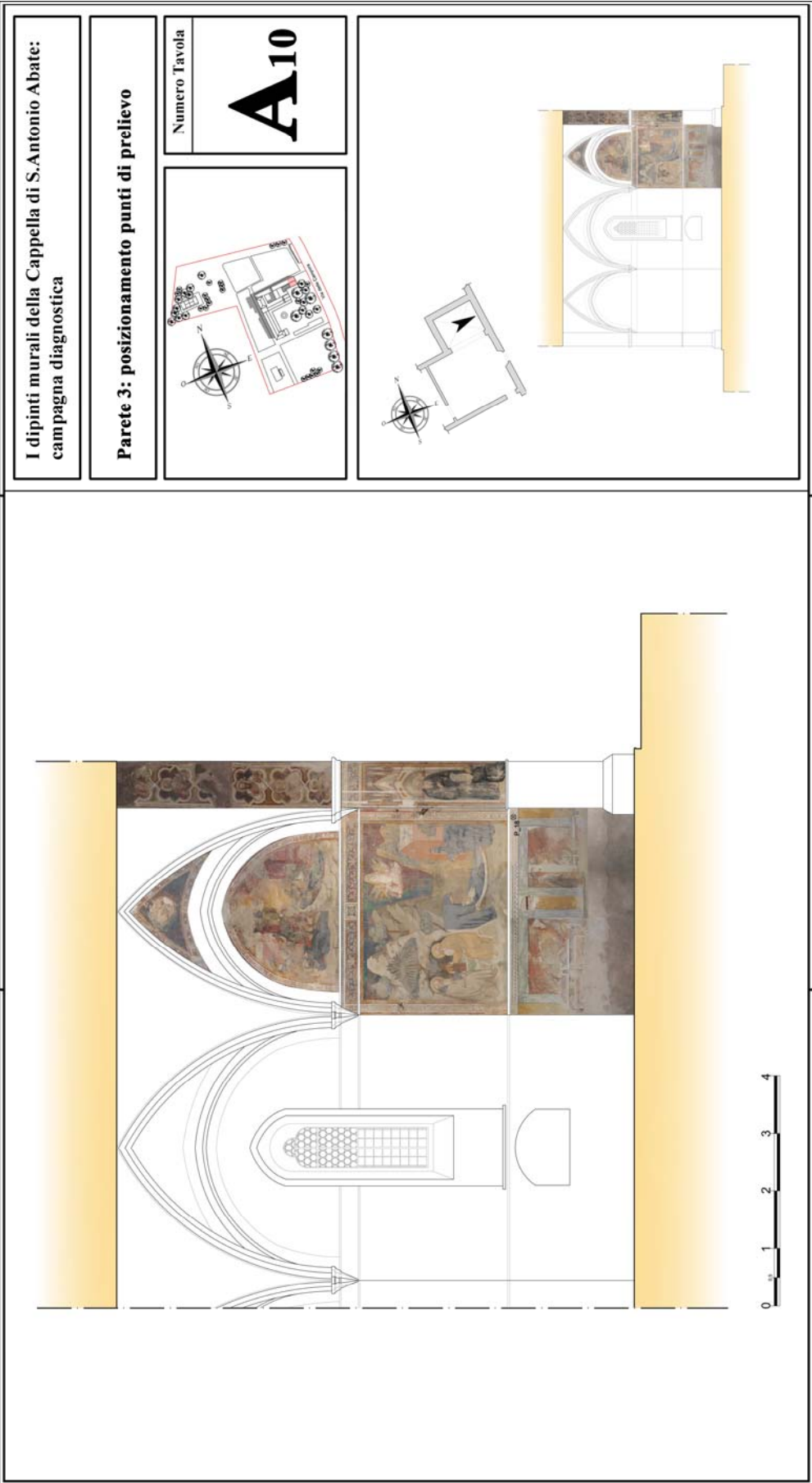


TAVOLA A9





## CONCLUSIONI

### ANALISI DELLA TECNICA ESECUTIVA

Da un'attenta osservazione, agevolata dall'ausilio di luci radenti, si evince che la cappella fu dipinta, come di consueto, partendo dall'alto per poi discendere nel corso dell'esecuzione. Vennero eseguite inizialmente le incorniciature geometriche, funzionali alla scansione dello spazio, sul cui intonaco fresco furono riportati i segni di costruzione tramite battiture di corda.



**Figura 31 – Particolare a luce radente dove sono visibili i solchi lasciati dalla battitura di corda**

Furono quindi eseguiti i riquadri figurati, in cui l'intonaco fu applicato in porzioni di dimensioni abbastanza ridotte (giornate). Questo elemento dimostrerebbe la volontà di eseguire il dipinto, quantomeno nelle prime stesure, su intonaco fresco.





**Figura 32 – Immagine a luce radente che evidenzia il profilo delle giornate e dell'aureola**

Il dipinto fu poi completato con finiture a secco, cioè con stesure realizzate con pigmenti stemperati in un legante organico, molte delle quali purtroppo sono andate perse a causa della loro fragilità. Fra queste, le campiture blu di azzurrite, pigmento composto da carbonato basico di rame (analizzato con la tecnica FORS), a causa delle infiltrazioni, risultano parzialmente alterate in colore verde. Tale alterazione è avvenuta in seguito della trasformazione chimica del pigmento in cloruro basico di rame (atacamite e paratacamite).



**Figura 33 – Particolare del pigmento azzurrite parzialmente alterato**

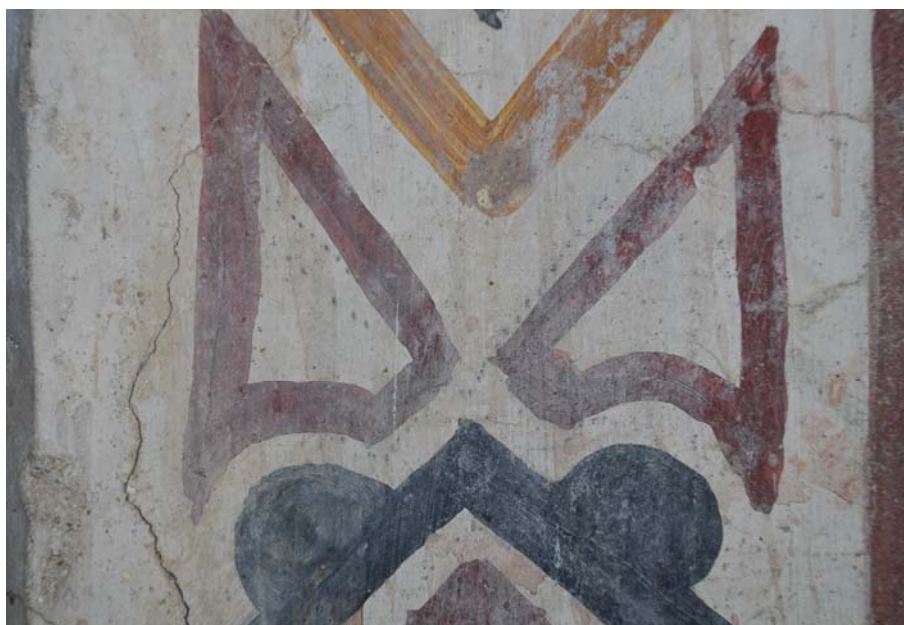
Le indagini tramite FORS hanno avallato l'ipotesi dell'uso esteso della tecnica a buon fresco: infatti, i pigmenti individuati risultano essere per la maggior parte terre naturali a base di ossidi, che

sono per eccellenza compatibili con la basicità della calce e quindi solitamente utilizzate con questa tecnica.

Le campiture verdi sono realizzate con terra verde (fillosilicati di ferro), quelle gialle e brune con ocre gialle e terre naturali (idrossidi di ferro) i rossi con terre e ocre rosse a base di ossidi di ferro, i bianchi sono a base di bianco di San Giovanni (carbonato di calcio), i grigi sono ottenuti con una mescolanza di terre, bianco San Giovanni e un pigmento nero, probabilmente nero carbone (non individuabile con la tecnica FORS)

Grazie ad osservazioni della superficie illuminata con luce UV è stato possibile riscontrare qualche residuo di finitura a secco, come le tracce presenti sul manto rosso del Santo, probabilmente Agostino, nell'atto di consegnare un libro ad un monaco.

Per quanto riguarda i segni di riporto del disegno, oltre alle già citate battiture di corda e alle sporadiche incisioni dirette, sulle fasce decorative sono state individuate tracce dello spolvero. Questa è infatti una tecnica che ben si presta all'esecuzione di una decorazione seriale perchè permette l'utilizzo ripetuto di una stessa matrice.



**Figura 34 – Tracce dei puntini lasciati dal trasporto del disegno eseguito con lo spolvero**

Sulle scene non sono stati ravvisati segni di riporto del disegno: probabilmente esso fu qui eseguito a pennello direttamente sull'intonaco fresco impiegando ocre stemperate in acqua. Tale disegno rimane oggi visibile laddove sia avvenuta la caduta delle stesure di colore successivamente applicate.



**Figura 35 – Il disegno preparatorio eseguito a pennello con ocra gialla visibile nelle zone di caduta del colore**

È possibile inoltre supporre la presenza di un disegno preparatorio realizzato sull'arriccio (sinopia), utile come riferimento generale e coperto via via che su di esso venivano applicate le stesure di intonaco.

La pittura fu infine arricchita con l'applicazione di lamine metalliche. Sono presenti tracce, purtroppo molto frammentarie, delle dorature che impreziosivano, come era d'uso, le aureole. Laddove la decorazione a foglia d'oro risulta perduta rimane visibile l'intonaco preparatorio, con i segni del disegno di riferimento eseguito a pennello e la decorazione realizzata tramite la pressione di una stecca sull'intonaco morbido.



**Figura 36 – Un'aureola che presente tracce di doratura**

Per quanto riguarda l'intonaco, i materiali costitutivi riscontrati dalle analisi chimiche sono calcite e silicati: abbiamo quindi un intonaco di formulazione tradizionale, composto cioè da calce e sabbia.



## ANALISI DELLO STATO DI CONSERVAZIONE

Grazie alle misure effettuate tramite la strumentazione SUSI, è stato possibile analizzare l'umidità presente nell'intonaco e nelle murature fino a una profondità di circa 2 cm.

Il livello maggiore di umidità è stato riscontrato nella parete n°3, il livello inferiore nella n°1. Inoltre, l'umidità è risultata generalmente più alta nelle zone più basse, soggette a umidità di risalita dal terreno.

La presenza di sali è rilevante nelle zone afflitte da maggiore quantità di umidità (in particolare la balza dipinta nella zona inferiore) oltre che nelle parti della pittura soggette in passato a danni da infiltrazione dal tetto (parte alta della parete n°2).

Incrociando i dati sul quantitativo di umidità e di sali, possiamo concludere che la maggiore sorgente attiva di umidità, quindi veicolo di Sali, risulta essere la risalita dal terreno.

Questi dati sono certamente più significativi sulla parete n°3 in quanto esposta a nord e parzialmente al disotto del livello del suolo. Qui in effetti si è verificato in passato un danno sui dipinti della balza che sono andati perduti. Purtroppo il risarcimento presente vedi Figura 37, eseguito con una malta probabilmente di natura cementizia, ha peggiorato la situazione. Infatti il cemento, poco traspirante e spesso contenente nella sua formulazione base tracce di sali, ha creato una barriera per la risalita capillare. Per cui l'efflorescenze saline risultano più concentrate nella parte bassa della balza e nella parte immediatamente superiore al risarcimento. In questo modo, ulteriori porzioni di pittura sono state danneggiate.



**Figura 37 – La ricostruzione a cemento della parte bassa della pittura**

Per arginare questo processo di degrado è consigliabile intervenire rimuovendo le stuccature a cemento e reintegrando queste aree con intonaci traspiranti che favorendo la fuoriuscita di umidità dalla muratura abbiano funzione di superficie di sacrificio.

I sali presenti nelle parti alte della pittura, nella parete n°2, sono dovute ad infiltrazioni di acqua piovana dal tetto, causa parzialmente rimossa in seguito ad un intervento di risanamento. Sebbene le condizioni di conservazione in questa zona non destino particolare preoccupazione è auspicabile un'azione finalizzata alla rimozione delle efflorescenze saline nell'ottica di una conservazione e fruizione dello strato pittorico.

Tramite la tecnica FORS è stato individuato nella maggior parte dei punti di misura l'esistenza di un velo di solfato di calcio superficiale, non completamente riconducibile alla presenza di depositi incoerenti.

Questo fenomeno, responsabile dell'effetto di diffuso imbianchimento della cromia originale dei dipinti, potrebbe essere dovuto all'aggressione degli inquinanti atmosferici su materiale carbonatico, ai materiali costituenti il supporto, al deposito di polveri circolanti nell'ambiente. Nel caso studiato essendo l'affresco ubicato in ambiente confinato e avendo escluso, dalle analisi ad oggi effettuate, la presenza di gesso negli strati di preparazione (intonaco e finitura) la presenza di solfati è da imputare alla deposizione di polveri, di varia natura, contenenti gesso.

Il quadro è confermato dalle analisi FT-IR e dalla Cromatografia Ionica che indicano presenza di sali inquinanti: infatti, sono stati individuati solfati, presenti soprattutto in superficie, nitrati, cloruri e ossalati. Essi hanno comportato ulteriori fenomeni di degrado della pellicola pittorica quali efflorescenze, alterazioni cromatiche e sollevamenti della stessa.

Gli ossalati, che sono sali generalmente prodotti da complessi fenomeni di mineralizzazione di sostanze organiche, sarebbero qui forse da imputare all'alterazione di un fissativo applicato in passato, comunemente impiegato per saturare le cromie.

Essi, insieme ai nitrati e ai residui della combustione di cere, potrebbero essere responsabili degli aloni scuri presenti soprattutto nel primo registro della parete n°1.

Pertanto ai fini di una corretta conservazione preventiva dei dipinti della cappella sarebbe necessario impostare un intervento di restauro volto alla bonifica/rimozione dei sali e di altri residui organici dal supporto e al consolidamento della superficie pittorica.



**Figura 38 – Esempio di fenomeno di alterazione cromatica**

## RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza la collaborazione della famiglia Frascchetti – attuali proprietari – che gentilmente hanno aperto le porte dei propri “tesori” – e l’aiuto di Ute Derks del Kunsthistorisches Insittut in Florenz (Max Planck Insitut), Alessandra Malquori dell’Università degli Studi di Firenze e Daniela Parenti della Galleria dell’Accademia di Firenze, a cui va un sentito ringraziamento. Il lavoro è stato parzialmente supportato con i fondi del Progetto della Regione Toscana TeCon@BC (cod. 57476), bandi POR-FESR 2007-2013, Attività 1.1 – Linea di intervento D.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Galletti, *Lettera intorno la vera, e sicura origine del venerabile ordine de pp. Girolamini*, Roma 1755, pp. 29-39.
- [2] L. Pecchioni, *Zelo Dei Accensus. Le origini toscane dell'Ordine di San Girolamo e il Santo Sepolcro di Bartolomeo Bononi*, Firenze 2011.
- [3] Ignacio de Madrid, *La bula fundacional de la orden de san Jeronimo*, in *Studia Hieronymiana, VI centenario de la orden de San Jeronimo*, Madrid, 1973, pp. 59-74.
- [4] L. Fenelli, *Il convento scomparso*, in «Mitteilungen des Kunsthistorischen Institutes in Florenz» (in preparazione).
- [5] P. Puccinelli, *Cronica dell'abbadia di Fiorenza*, in *Historia dell'eroiche attioni di Ugo il Grande, duca della Toscana*, Milano 1664; P. Puccinelli, *Memorie sepolcrali dell'Abbadia fiorentina e d'altri monasteri*, in *Historia dell'eroiche attioni di Ugo il Grande, duca della Toscana*, Milano 1664.
- [6] L. Sebreghondi, *San Jacopo in Campo Corbolini a Firenze. Percorsi storici dai templari all'Ordine di Malta all'età moderna*, Firenze 2005.
- [7] O. Sirén, *Die Fresken in der Cappella di S. Antonio in Le Campora*, in «Monatshefte für Kunstwissenschaft», I, 1908, pp. 501-510.
- [8] B. Berenson, *Italian Pictures of the Renaissance: a list of the principal artists and their works, with an index of places*, London 1957-1968, vol. II, *Florentine school*, London 1963, p. 215.
- [9] M. Boskovits, *Pittura fiorentina alla vigilia del Rinascimento 1370-1400*, Firenze 1975, pp. 61-62 e p. 215, nota 72.
- [10] S. Chiodo, *Un dipinto per Francesco di Marco Datini: Il Thronum Gratiae della Pinacoteca Capitolina di Roma*, in *L'immagine ritrovata. La Trinità dei Coniugi Datini*, catalogo a cura di M.P. Mannini e C. Gnani Mavarelli, Firenze 2010, pp. 7-16.
- [11] A. Graziani, *Proporzioni: scritti e lettere*, a cura di T. Graziani Longhi, Bologna 1993.
- [12] P. Lee Roberts, *Familial values and Franciscan polemics in late Trecento Florence: the iconographic program of the Castellani chapel in Sta. Croce*, in «Gesta», 48, 2009,1, pp. 87-115.
- [13] L. Fenelli, *Dall'eremo alla stalla. Storia di sant'Antonio abate e del suo culto*, Roma-Bari, 2011.
- [14] A. Leader, *Reassessing the murals in the Chiostro degli Aranci*, in «The Burlington Magazine», 149, 2007 (1252), pp. 460-470.
- [15] M. Holmes, *Neri di Bicci and the Commodification of artistic Values in Florentine Painting (1450-1500)*, in *The Art Market in Italy: 15th-17th centuries*, a cura di M. Fantoni; L.C. Matthew; S.F. Matthews-Grieco, Modena, 2003, p. 213-223.
- [16] P. Zambarano, J.K. Nelson, *Filippino Lippi*, Milano, 2004.
- [17] G. Carocci, *I dintorni di Firenze*, II, Firenze 1907.
- [18] G.G. Amoroso, M. Camaiti, *Scienza dei materiali e restauro*, Ed. ALINEA srl, 1997.
- [19] US Patent N. US 7,560,937 B2, July 14, 2009, *Microwave sensor for measuring the moisture content of masonry surfaces comprising a microstrip resonator coupled with an open coaxial probe*, (M. Bini, A. Ignesti, R. Olmi, L. Pieri, S. Priori, C. Riminesi); EU Patent N. PCT/IT2005/000505 del 2 Settembre 2005, estensione del Brevetto CNR N. 1626 - FI 2004A000187: *Strumento a microonde per la diagnostica di superfici murarie*, (M. Bini, A. Ignesti, R. Olmi, L. Pieri, S. Priori, C. Riminesi).



- [20] R. Olmi, M. Bini, A. Ignesti, S. Priori, C. Riminesi and A. Felici, *Diagnostics and monitoring of frescoes using evanescent-field dielectrometry*, «Measurement Science and Technology», Vol.17, No.8, pp.2281-2288, 2006; F. Bandini, A. Felici, P.I. Mariotti, R. Olmi, C. Riminesi, *I dipinti murali della Loggetta dell'Allori a Palazzo Pitti: una sperimentazione per l'estrazione dei sali e per il monitoraggio con dielettrometria a microonde*, «Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure», N.20, pp.121-130, 2008.
- [21] V. Di Tullio, N. Proietti, M. Gobbino, D. Capitani, R. Olmi, S. Priori, C. Riminesi, E. Giani, *Non-destructive mapping of dampness and salts in degraded wall paintings in hypogeous buildings: the case of St. Clement at mass fresco in St. Clement Basilica, Rome*, «Anal. Bioanal. Chem.», 396, pp.1885-1896, 2010.
- [22] R. Olmi and C. Riminesi, *Study of water mass transfer dynamics in frescoes by dielectric spectroscopy*, «Il Nuovo Cimento», Vol.31C, N.3, pp.389-402, 2008.
- [23] M. Bacci, F. Baldini, R. Carlà, R. Linari: *A Color Analysis of the Brancacci Chapel Frescoes*, «Applied Spectroscopy», 45 (1/1991), pp. 26-31; M. Bacci, F. Baldini, R. Carlà, R. Linari, M. Picollo, B. Radicati: "A Color Analysis of the Brancacci Chapel Frescoes. Part II". «Applied Spectroscopy», 47 (4/1993), pp. 399-402.
- [24] M. Bacci, A. Casini, M. Picollo, B. Radicati, and L. Stefani: *Integrated non-invasive technologies for the diagnosis and conservation of the cultural heritage*, «Journal of Neutron Research», 14/1, (2006), 11-16.
- [25] M. Bacci, A. Casini, F. Lotti, M. Picollo, S. Porcinai, B. Radicati, L. Stefani, *Spettroscopia in riflettanza non-invasiva mediante l'uso di fibre ottiche* in: Metodologie integrate per l'analisi di dipinti, Edizioni Progetto (2003), Padova, pp. 106-116.
- [26] A. Aldrovandi, M. Picollo, B. Radicati: *I materiali pittorici: analisi di stesure campione mediante spettroscopia in riflettanza nelle regioni dell'ultravioletto, del visibile e del vicino infrarosso*. «OPD Restauro», 10 (1998), pp. 69-74.
- [27] <http://fors.ifac.cnr.it> - Archivio spettrale FORS realizzato in collaborazione tra IFAC-CNR e OPD, *Fiber Optics Reflectance Spectra (FORS) of Pictorial Materials in the 270-800, 350-1000, 900-1700 nm ranges*.